

**RIESGOS AMBIENTALES SOBRE AGUA Y SUELO POR DISPOSICIÓN DE
CORTES DE PERFORACIÓN EN EL CAMPO CASTILLA**

ALEXANDRA CASTAÑEDA MARTINEZ

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2019**

**RIESGOS AMBIENTALES SOBRE AGUA Y SUELO POR DISPOSICIÓN DE
CORTES DE PERFORACIÓN EN EL CAMPO CASTILLA**

ALEXANDRA CASTAÑEDA MARTINEZ

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador(a):
DORA MARIA CAÑÓN RODRIGUEZ
Ingeniera Química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá D.C. abril del 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gestión ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir un logro más en mi carrera profesional, es quien me guía.

A mi familia, ellos son el pilar de mi vida, el soporte que me ha permitido ser quien soy, a través de su amor y apoyo he cumplido todos mis sueños.

Especialmente a mi mamá Luz Stella Martinez, a quien admiro profundamente y es mi modelo a seguir, gracias a su apoyo incondicional he logrado ser cada día mejor.

A mis amigos, por su apoyo, por ser parte de mi familia y acompañarme en todas las aventuras de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por impulsarme a ser mejor cada día y por ser mi motivación e inspiración para conseguir todos los logros propuestos.

Un agradecimiento para mi orientadora Dora Cañón, por su asesoría durante la elaboración de esta monografía.

Agradezco a la Doctora Jenny Alarcón Parra, por su acompañamiento y por estar dispuesta a ayudarme durante la transición en la que me encuentre en este proceso.

Gracias a mis instructores quienes brindaron apoyo en esta investigación y me enseñaron un mundo diferente al de la ingeniería de petróleos.

Un agradecimiento especial para mi compañero Camilo Niño, quien fue un apoyo fundamental durante la segunda etapa de este proceso.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. MARCO TEORICO	19
1.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN	19
1.1.1 Propiedades fisicoquímicas	19
1.1.2 Clasificación de fluidos de perforación	20
1.1.3 Funciones del fluido de perforación	20
1.1.4 Ciclo del lodo en el pozo	23
1.2 CORTES DE PERFORACIÓN	24
1.2.1 Composición de los cortes de perforación	26
1.2.2 Equipos control de solidos	27
1.2.3 Tratamientos disponibles	28
1.3 RIESGO AMBIENTAL	31
1.3.1 Riesgos ambientales asociados a la disposición de cortes de perforación	32
1.4 IMPACTOS AMBIENTALES	33
1.4.1 Impactos ambientales de las actividades de perforación	34
1.5 MARCO LEGAL	36
2. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA	38
2.1 LOCALIZACIÓN	39
2.2 CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES	40
2.3 GEOLOGÍA	41
2.4 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	43
2.4.1 Spud Mud	44
2.4.2 Boremax	45
2.4.3 Baradrill-N	46
2.5 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS CORTES CAMPO CASTILLA	47
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE CAMPO CASTILLA	52
2.6.1 Ecosistemas presentes Llanos Orientales	49
2.6.2 Medio biótico	49
2.6.2.1 Ecosistemas terrestres	48
2.6.2.2 Ecosistemas acuáticos	51
2.6.3 Medio abiótico	52
2.6.3.1 Suelos	52
2.6.3.2 Hidrología	53

3. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE CORTES EN EL POZO A DE CAMPO CASTILLA	54
4. RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA DISPOSICIÓN DE CORTES EN CAMPO CASTILLA	56
4.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	58
4.2 VALORACIÓN CUALITATIVA	60
5. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES	63
5.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE MITIGACIÓN	63
5.2 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS	64
6. CONCLUSIONES	65
7. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	71

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Categorías funcionales de los materiales usados en WBF, sus funciones y ejemplos de productos químicos típicos en cada categoría	22
Cuadro 2. Composición de los cortes de perforación	27
Cuadro 3. Impactos potenciales de las operaciones de perforación	35
Cuadro 4. Propiedades de fluidos Campo Castilla	38
Cuadro 5. Propiedades de Spud Mud	44
Cuadro 6. Formulación del fluido Spud Mud	45
Cuadro 7. Propiedades de Boremax	45
Cuadro 8. Componentes del fluido Boremax	46
Cuadro 9. Propiedades de Baradrill-N	46
Cuadro 10. Formulación de lodo Baradrill-N	47
Cuadro 11. Características físicas de corte de perforación en Campo Castilla después de paso por el sistema de control de sólidos	48
Cuadro 12. Área de Influencia Indirecta	51
Cuadro 13. Área de Influencia Directa	51
Cuadro 14. Área de Influencia Indirecta	51
Cuadro 15. Área de Influencia Directa	52
Cuadro 16. Área de Influencia Indirecta	53
Cuadro 17. Área de Influencia Directa	53
Cuadro 18. Identificación de impactos ambientales	54
Cuadro 19. Identificación de riegos	57
Cuadro 20. Medición cualitativa de la posibilidad	59
Cuadro 21. Medición cualitativa del impacto	59
Cuadro 22. Matriz de Nivel de riesgo: análisis cualitativos del riesgo	59
Cuadro 23. Valoración cualitativa de los riesgos identificados	60
Cuadro 24. Estrategias de tratamiento	63
Cuadro 25. Recursos afectados y amenazas identificadas	63
Cuadro 26. tratamientos de riesgos valorados altos	64

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Distribución de riesgos por componente	58
Gráfica 2. Valoración Cualitativa de los riesgos	62

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Circulación del fluido de perforación	24
Figura 2. Terminología de riesgo	32
Figura 3. Volumen de residuos de perforación (bbl)	36
Figura 4. Localización Campo Castilla en Colombia	40
Figura 5. Perfil geomorfológico del Meta	41
Figura 6. Columna estratigráfica Campo Castilla	42
Figura 7. Diagrama de Pozo A Campo Castilla	44

RESUMEN

El propósito de esta monografía es realizar un análisis de los riesgos ambientales ocasionados por la disposición de cortes de perforación en el Campo Castilla de Ecopetrol. Para la obtención de este objetivo se realizó una investigación la revisión de información en fuentes secundarias y un análisis descriptivo que permitieron la identificación de los riesgos ambientales asociados a este proceso, teniendo en cuenta la ubicación geográfica y condiciones ambientales del Campo Castilla en el Meta y así proponer posibles tratamientos de los riesgos identificados allí.

El interés en este tema está asociado a la importancia del departamento del Meta en la industria petrolera en Colombia, debido a ser considera una de las regiones más relevantes en producción de petróleo, Campo Castilla es un marco de gran importancia para analizar los riesgos ambientales en suelo y agua que allí se generan por las operaciones de la industria, en especial en la disposición de cortes de perforación y su impacto en los cuerpos hídricos y suelos de la zona.

A través del análisis de la información, con la cual se realizó la identificación y evaluación de los riesgos, se observó que a pesar de ser un proceso que genera gran cantidad de residuos sólidos, dado a su composición fisicoquímica, genera impactos de amenaza alta-media, que pueden ser tratados con una adecuada gestión de sólidos y un control de mayor rigurosidad en los procedimientos necesarios tanto para el tratamiento como la disposición de estos cortes.

Palabras clave: Pozo perforación. Impactos ambientales. Riesgos ambientales. Cortes de perforación. Disposición final.

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to perform an analysis of the environmental risks caused by the provision of drilling cuts in the Campo Castilla de Ecopetrol. In order to obtain this objective, an investigation was made of the review of information in secondary sources and a descriptive analysis that allowed the identification of the environmental risks associated with this process, taking into account the geographic location and environmental conditions of Campo Castilla in the Meta and thus propose possible treatments for the risks identified there.

Interest in this issue is associated with the importance of the department of Meta in the oil industry in Colombia, because it is considered one of the most important regions in oil production, Campo Castilla is a very important framework for analyzing environmental risks in soil and water generated there by the operations of the industry, especially in the provision of drilling cuts and their impact on water bodies and soils in the area.

Through the analysis of the information, with which the identification and evaluation of the risks was made, it was observed that, despite being a process that generates a large amount of solid waste, given its physicochemical composition, it generates high-threat impacts. Average, which can be treated with an adequate management of solids and a more rigorous control in the necessary procedures both for the treatment and the disposition of these cuts.

Key words: Drilling well. Environmental impacts. Environmental risks. Drilling cuts. Final disposition.

GLOSARIO

DENSIDAD: esta expresada en libras por galón (lb/gal), está definida como peso por unidad de volumen. La presión hidrostática depende de la densidad del lodo y la profundidad de perforación.

REOLOGÍA: hace referencia a los comportamientos y deformaciones de los fluidos de perforación, esta propiedad es importante para determinar la capacidad del fluido de llevar cortes de la formación a superficie.

VISCOSIDAD PLÁSTICA: es la resistencia al flujo generada por fricciones mecánicas entre los sólidos suspendidos, esta propiedad depende del contenido, tamaño y forma de estos sólidos.

FILTRADO API: indica la cantidad de líquido que se filtra a través del revoque, (depósito de sólidos contra la cara de la formación con el fluido) cuando el fluido está sometido a presión diferencial, hacia las formaciones permeables.

PUNTO CEDENTE: es la capacidad que tiene de limpiar un fluido en condiciones dinámicas, el cual aumenta con la presencia de contaminantes solubles (carbonato, calcio y sólidos). Midiendo la fuerza de atracción entre partículas en condiciones dinámicas.

PORCENTAJE DE ARENAS: este porcentaje debe ser lo más mínimo para evitar que los equipos de perforación se vean afectados, este sólido no reactivo es indeseable, dado a sus propiedades abrasivas.

FUERZA DE GEL: mide la habilidad del fluido para tener una consistencia gelatinosa cuando este estático, esta propiedad tixotrópica permite que los cortes no se asienten cuando el fluido está en reposo.

DUREZA: generada por las sales de calcio y magnesio que se encuentran disueltas en el fluido. Estos son contaminantes que disminuyen el rendimiento de las arcillas.

ALCALINIDAD: la concentración de iones solubles en agua neutraliza ácidos, conocer esta propiedad es importante para asegurar el control adecuado de la química de este fluido y poder agregar de forma correcta los aditivos necesarios.

PH DEL LODO: permite conocer si el fluido es ácido o alcalino, en su mayoría los fluidos base agua son alcalinos (7,5 a 11,5).

CLORUROS: un alto valor de cloruros genera problemas de floculación, aumentando el punto cedente que afecta la reología del fluido, lo que puede generar problemas de arremetida

FUENTE DE RIESGO: es un término que incluye la relación causa-efecto de un riesgo, donde incluye los problemas ambientales que ocasionen consecuencias, producidas por una entidad física, química o biológica.

PELIGRO: se define como la fuente potencial de que suceda un daño que cause una pérdida o un impacto negativo, este posee un potencial intrínseco que puede ser liberado.

ASPECTOS AMBIENTALES: son los elementos de actividades, productos o servicios que se relacionan con el ambiente desde una organización.

INCIDENTE: sucesos que tenga un efecto negativo en el ambiente, proviene del potencial intrínseco de un peligro.

EVENTO: se define como un evento momentáneo, suceso corto

CONSECUENCIAS: resultado de un evento (incidente), expresado de forma cuantitativa o cualitativa, los cuales tienen variedad de resultados.

VALORACION DEL RIESGO: es un proceso de análisis y evaluación que permite identificar la frecuencia, probabilidad y posibilidad de ocurrencia:

FRECUENCIA: se expresa como la cantidad de ocurrencias en un tiempo establecido, es decir, es la tasa de ocurrencia de algún efecto.

PROBABILIDAD: mide la relación de los eventos específicos y la cantidad de eventos posibles, siendo esta una medida numérica, útil para calificar los riesgos de manera cuantitativa, expresado de 0 a 1.

POSIBILIDAD: usado para análisis cualitativo de los riesgos, describe de manera generar la probabilidad o la frecuencia de que un evento suceda.

INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo, en la actualidad está compuesta por diferentes operaciones, las cuales generan un gran volumen de desechos, siendo los cortes de perforación los de mayor abundancia, los cuales tienen gran potencial de generar impactos ambientales, dependiendo del tipo de actividad que se desarrolle, la complejidad, los controles, la efectividad y planeación de procesos y actividades de prevención de contaminación es el grado de impacto que genera.

Los fluidos de perforación generan un daño al medio ambiente, esto depende del tipo de lodo que se use y de las condiciones medioambientales del lugar de operación. Los ripsos y fluidos al ser dispuestos en suelos producen cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, alterando consigo la calidad de agua por procesos relacionados con escorrentía y de esta manera afectando la fauna y la flora adyacente. Estos cortes están contaminados, por lo tanto, su adecuado tratamiento y disposición debe ser óptima para disminuir la probabilidad de ocurrencia de un desastre ambiental.

En Colombia, el departamento del Meta es uno de los más importantes en el país, en cuanto a la industria petrolera, siendo la producción de petróleo uno de los factores más influyentes en la economía y desarrollo de la región, allí se encuentran campos de explotación de gran importancia, tales como Apiay, Rubiales, Castilla y Chichimene, que pertenecen a la operación de Ecopetrol.

Con este motivo se realizó el análisis los riesgos ambientales presentes en la disposición de cortes de perforación en Campo Castilla, teniendo en cuenta la tesis "Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el campo castilla de Ecopetrol S.A.", este estudio realizado donde se observa que el actual sistema de control de sólidos presenta numerosas debilidades, prolongando así los procesos de disposición final, sin embargo, no se conoce los riesgos ambientales de la disposición de lodos actual de este pozo. La deficiencia de este proceso es un escenario adecuado para el análisis de riesgos ambientales, por tal motivo esta monografía pretende estudiar los posibles riesgos que la disposición de estos cortes podría generar en los recursos de agua y suelo con el fin de plantear posibles alternativas de tratamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los riesgos ambientales en la disposición final de los cortes de la operación de perforación en el Campo Castilla de Ecopetrol.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la fuente de generación y la naturaleza de los cortes de perforación en el Campo Castilla de Ecopetrol.
- Identificar los impactos ambientales asociados a la disposición final de cortes sobre suelo y agua en el pozo A de Campo Castilla de Ecopetrol.
- Determinar los riesgos ambientales de la disposición final de cortes de la operación de perforación en el pozo A de Campo Castilla de Ecopetrol.
- Proponer el tratamiento de los riesgos previamente identificados.

1. MARCO TEORICO

El desarrollo del marco teórico permitirá dar la solución al objetivo de describir la fuente de generación y la naturaleza de los cortes de perforación en el Campo Castilla de Ecopetrol, introduciendo esta monografía con los aspectos más relevantes sobre la actividad de perforación y el origen de los cortes de perforación.

1.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

En las operaciones de perforación, el fluido de perforación es uno de los componentes más importantes que existe en este proceso, dependiendo de las propiedades de este el éxito de la realización del pozo. Schlumberger¹, define este fluido como; “cualquier serie de fluidos ya sea líquidos, gases o mezclas de fluidos con sólidos, utilizados en operaciones de perforación para controlar el pozo”, tiene varias funciones importantes, una de ellas es la suspensión de cortes y su transporte a la superficie. La composición química de los lodos cambia dentro de un mismo pozo o de pozo a pozo.

1.1.1 Propiedades fisicoquímicas. Según los fundamentos de los fluidos de perforación de Schlumberger², los fluidos de perforación consisten en una fase continua líquida y una fase discontinua que puede estar compuesta por sólidos. Por diseño o por arrastre de gas de formación pueden también tener una fase gaseosa. Los fluidos deben tener ciertas características para cumplir completamente con las funciones en las operaciones de perforación. Según Caenn, Darley y Gray³, las propiedades físicas son Densidad, Reología, Viscosidad plástica, Filtrado API, Punto cedente, Porcentaje de arenas, Fuerza de gel y propiedades químicas son: Dureza, Alcalinidad, pH del lodo y Cloruros.

En la industria petrolera, se pueden encontrar diferentes tipos de fluidos que según sus propiedades tienen diferentes funcionalidades en la industria, ejemplo de ello, en operaciones offshore, al ser operaciones de alta probabilidad de riesgo, es común usar fluidos base aceite. Mientras los fluidos base agua son comúnmente usados en operaciones onshore por su menor valor de diseño.

¹SCHULMBERGER. Oil Glossary. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 15 julio 2018]
Disponible en: http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/d/drilling_fluid.aspx

²SCHLUMBERGER. Oilfield review. Fundamentos de los fluidos de perforación. Volumen 25, no.1

³CAENN, Ryen; DARLEY, HCH & GRAY, George. Composition and properties of drilling and completion Fluids. 6 ed. Gulf Professional Publishing. 1988. p. 7-17.

1.1.2 Clasificación de fluidos de perforación. Existen tres tipos de lodos, los cuales dependen de la composición de su fase líquida, fluidos base agua, aceite y sintéticos.

- **Fluidos base agua:** El-sayed y Abu El-naga⁴, define estos fluidos son los más comunes en las operaciones de perforación. Son aquellos que su fase continua es agua y en el cual algunos materiales se mantienen en suspensión y otros se disuelven, su composición es a partir una suspensión de partículas de minerales, sales disueltas y compuestos orgánicos. Su fase líquida depende del agua disponible en la ubicación de la perforación (agua dulce, mar o salmuera concentrada), como sólidos reactivos, están las arcillas provenientes de la formación perforada y sólidos inertes, son los químicamente activos (caliza, dolomita, barita).
- **Fluidos base aceite:** Nabahani y Khaje⁵, menciona que los fluidos base aceite son aquellos que su fase continúa es aceite, compuestos normalmente por más o menos 5% vol. De agua. Son usados para mejorar la lubricidad, reducir fricción y cuando se va a realizar una perforación en un sitio con condiciones especiales como temperaturas altas, pizarra, perforaciones con alto ángulo y pozos de gran alcance. Este fluido tiene como base continua diésel, aceite mineral y agua como fase dispersa.
- **Fluidos base sintética:** según Bolaños⁶, los fluidos sintéticos como los cuales su base del fluido es un aceite sintético, es el más usado en las plataformas de offshore, teniendo las propiedades de los lodos base aceite, con toxicidades menores.

1.1.3 Funciones del fluido de perforación. Control de las presiones de formación, el fluido de perforación genera una presión hidrostática que se usa para contrarrestar el incremento de presión de formación. Este control es de gran importancia para evitar desplazamientos hacia el pozo y superficie, por esto el peso del lodo es limitado porque genera una presión mínima para controlar el pozo y máxima para no fracturar la formación.

⁴ EL-SAYED, Abdullah; ABU EL-NAGA, Kamal. Treatment of drill cuttings. Exploration and Production Environmental Conference held in San Antonio, Texas. En: SPE. 2001. p. 1

⁵ NABAHANI, Nader; KHAJE, Esmaeel. Environmental aspect of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings. En: International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2015. p. 16.

⁶ BOLAÑOS, Vanessa. Disposición ambiental de los cortes de sólidos asociados a la perforación de pozos petroleros aplicando la reinyección de cortes de perforación en el bloque 16 del oriente ecuatoriano. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial. Ingeniera ambiental y manejo de riesgos. 2014 naturales. 2014. p. 27.

Remoción de los cortes del pozo, es una de las funciones más importantes de los fluidos, cuando el fluido circula permite el arrastre a la superficie de los fragmentos de rocas producto de la perforación con broca, cuando este se encuentra estático adquiere una propiedad de gel para mantener en suspensión los sólidos y evitar que estos se depositen en el fondo del pozo. La efectividad del lodo para remover recortes depende de la velocidad con la que se mueva, la densidad y la viscosidad de este.

Suspender sólidos de la formación y liberarlos en la superficie, esto se consigue por medio de las propiedades tixotrópicas que permiten que las partículas sólidas se suspendan al detenerse la circulación del lodo.

Enfriamiento y lubricación de la broca, el fluido de perforación ayuda a enfriar y lubricar la broca, al momento de perforar se genera un calor por la fricción y el contacto de la sarta de perforación con las formaciones, este calor es transferido a la superficie, por lo tanto, debe ser controlado, para que la broca tenga mayor vida útil y la presión de la bomba sea reducida.

Soporte a la tubería de perforación, al ser mayor las profundidades de perforación, el peso que debe soportar el equipo de superficie es cada vez más relevante, por eso la densidad del lodo es determinante para reducir el peso total que debe soportar este equipo.

Control de corrosión, los equipos de perforación son susceptibles a corroerse, el fluido de perforación debe permitir evitar estos problemas, en especial los generados por gases disueltos, oxígeno, CO₂ y sulfuro de hidrógeno.

Según El-sayed y Abu El-naga⁷, la transmisión de la energía hidráulica a la broca y las herramientas de fondo de pozo, el fluido es descargado a través de las boquillas de la cara de la broca, esto permite elevar los cortes lejos de la formación, la energía hidráulica generada por este fluido acciona los motores de fondo y herramientas como el MWD y LWD, es por esto que la hidráulica debe ser considerada al momento de planear el programa de lodo, es decir, las tasas de circulación deben permitir que la utilización de la potencia óptima se utilice para limpiar la cara del hueco.

Mantenimiento de la estabilidad del pozo, para estabilizar un pozo se debe tener en cuenta la regulación de la densidad, la minimización de la erosión hidráulica y el

⁷ EL-SAYED. Op. Cit., p. 2

control de arcilla. Maldonado⁸, en su tesis explica que esta función es importante debido a que algunas formaciones son inestables, cuando se perforan pueden generarse grandes problemas como derrumbes. En el Cuadro 1, se puede observar según las propiedades del fluido, que función cumple en los requerimientos de diseño del fluido y que tipo de químico se usaría para lograr obtener dicha propiedad.

Cuadro 1. Categorías funcionales de los materiales usados en los lodos base aceite, sus funciones y ejemplos de productos químicos típicos en cada categoría.

Categoría	Función	Tipo químicos
Peso	Aumenta la densidad (peso) del lodo, equilibrando la presión de la formación, evitando un reventón.	Barita, hematita, calcita, limonita.
Viscosidad	Aumenta la viscosidad del barro para suspender los recortes y el agente de peso en el barro	Bentonita o arcilla atapulcita, carboximetil celulosa y otros polímeros
Disolventes y agentes de estabilidad de la temperatura	Arcillas defloculadas para optimizar la viscosidad y la resistencia del gel del barro	Taninos, polifosfatos, lignito, lignosulfonatos
Reductores de filtrado	Disminuya la pérdida de fluido a la formación a través de la torta de filtro en la pared del pozo	Bentonita, lignito, Nacarboximetilcelulosa, poliacrilato, almidón pregelatinizado
Materiales de circulación perdidos	Tapa las fugas en la pared del pozo, evitando la pérdida de todo el lodo de perforación a la formación	Cáscaras de nuez, materiales fibrosos naturales, sólidos inorgánicos y otros sólidos insolubles inertes
Lubricantes	Reduce el torque y arrastre en la sarta de perforación	Aceites, líquidos sintéticos, grafito, surfactantes, glicoles, glicerina
Materiales de control de shales	Controla la hidratación de la pizarra que causa la hinchazón y la dispersión de la pizarra, colapsando la pared del pozo	Sales solubles de calcio y potasio, otras sales inorgánicas y sustancias orgánicas como glicoles
Emulsionantes y surfactantes	Facilitar la formación de una dispersión estable de líquidos insolubles en la fase acuosa del lodo	Detergentes aniónicos, catiónicos o no iónicos, jabones, ácidos orgánicos y detergentes a base de agua
Bactericidas	Prevenir la biodegradación de los aditivos orgánicos Evitar que la tubería se pegue al pozo	Glutaraldehído y otros aldehídos

⁸ MALDONADO, Ángela. Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de alto rendimiento aplicados al campo Balcón como sustitutos de lodo base aceite. En: Universidad Industrial de Santander. 2006. p. 27

Cuadro 1. (Continuación)

Agentes liberadores de tubos	Evite que las tuberías se adhieran a la pared del pozo o a la tubería atascada	Detergentes, jabones, aceites, surfactantes
Reductores de calcio	Contrarrestar los efectos del calcio del agua de mar, el cemento, las anhidritas de la formación y el yeso en las propiedades del lodo	Carbonato de sodio y bicarbonato (Na_2CO_3 y NaHCO_3), hidróxido de sodio (NaOH), polifosfato
Inhibidores de corrosión	Prevenir la corrosión de la sarta de perforación por ácidos de formación y gases ácidos	Aminas, fosfatos, mezclas especiales
Agentes de estabilidad de temperatura	Aumenta la estabilidad de las dispersiones de barro, la emulsión y las propiedades reológicas a altas temperaturas	Polímeros o copolímeros acrílicos o asfálticos, lignito, lignosulfonato, taninos

Fuente: NABAHANI, Nader; KHAJE, Esmaeel. Environmental aspect of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings. En: International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2015. p.15

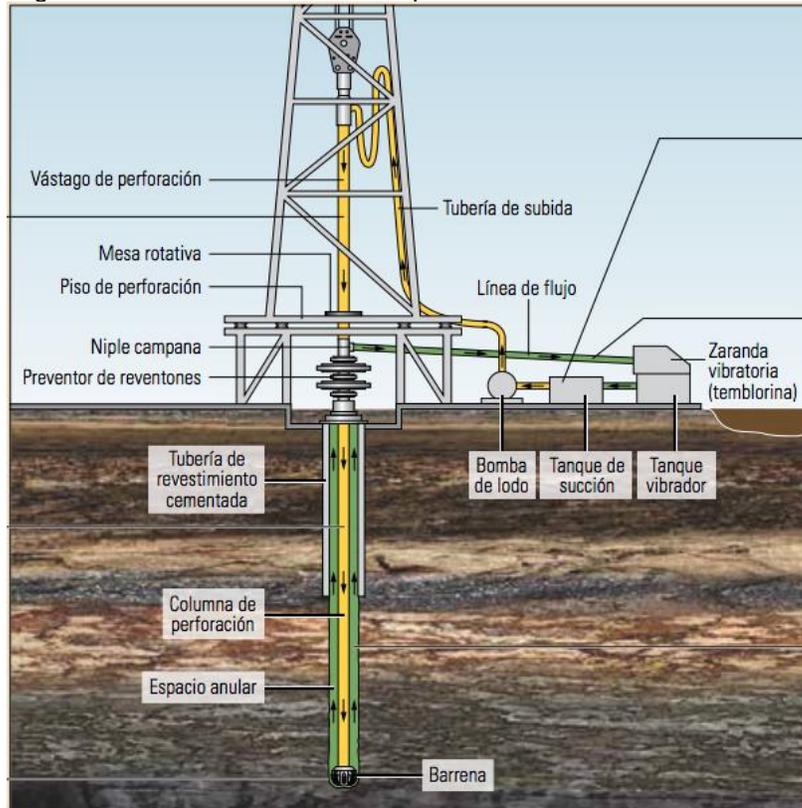
1.1.4 Ciclo del fluido en el pozo. Esta circulación, es un ciclo continuo, el cual está dividido en dos etapas, la primera es cuando se desplaza el lodo desde la superficie hasta el fondo del hoyo por medio de la sarta de perforación y su salida por los jets de la broca, la segunda cuando sube a superficie desde el fondo del hoyo por medio del espacio anular.

El inicio de este sistema empieza donde en el tanque de succión donde el fluido se encuentra almacenado, desde allí se extrae con una bomba y es enviado por medio de una tubería a la parte externa de la torre de perforación y se conecta con la manguera de perforación, opuesto a esta manguera se encuentra el Swivel, el cual permite la entrada del fluido a la sarta de perforación. De allí se conecta por medio de los Drill Collars a la broca.

Esta tiene unos orificios que permiten la salida del fluido y de allí asciende por el espacio anular. Posterior a esto, por medio de una línea de retorno el fluido es conducido a control de sólidos, donde por medio de diferentes sistemas se retiran los sólidos del fluido, sistemas como zarandas, desarenadores, desarcilladores, entre otros. Después de este proceso, el fluido pasa por desgasificadores (si hay contacto con formaciones de gas).

Posteriormente, pasa a unos tanques de asentamiento para verificar las características del lodo y conducirlo nuevamente al inicio del sistema de circulación, de no cumplir con las condiciones requeridas para esta operación se direccionan a tanques de acondicionamiento. En la figura 1 se puede observar el ciclo del fluido de perforación.

Figura 1. Circulación del fluido de perforación



Fuente: SCHULMBERGER. Oilfield. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO [Consultado 20, julio, 2018]. Disponible en: https://www.slb.com/~/media/Files/resources/oilfield_review/spanish13/spr13/defining_fluids.pdf

Esta operación de circulación del lodo, en la fase de volver a la superficie, posterior a la perforación del hoyo, arrastra consigo unas partículas, llamadas cortes de perforación, las cuales provienen de la formación y deben tener según las propiedades del lodo un tratamiento específico.

1.2 CORTES DE PERFORACIÓN

Tal como lo expone Leal y Lizarazo⁹ en su investigación, los cortes (ripios) son partículas provenientes de la formación, las cuales son generadas en las operaciones de perforación, por las fuerzas de compresión y rotatoria del taladro. Estos cortes al ser circulados a la superficie sufren una reducción de tamaño por la abrasión con otras partículas, la acción de triturar que ejerce la tubería de

⁹ LEAL, Christian y LIZARAZO, Julián. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Bucaramanga CO: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011. p. 37.

perforación, según Bolaños¹⁰, por lo que el área superficial se incrementa en forma exponencial debido a la degradación de los cortes y adquieren varias características del lodo, lo cual los convierten en un desecho difícil de manejar y disponer al medio ambiente.

La clasificación de los residuos generados durante las operaciones petroleras, según Gbadebo, Taiwo y Eghele¹¹, son dos, líquidos (agua y aceite, depende de la fase continua del lodo) y sólidos (lodos y cortes de perforación). Estos últimos representan el 2% aproximadamente del volumen total de residuos, el resto se atribuye como agua de formación producida. A pesar de ser un porcentaje bajo, muchos de los aditivos usados en el diseño de los fluidos son tóxicos y por esto deben regularse.

Tal como lo mencionan Méndez, Ledesma y Ceniceros¹², en la revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y el tipo de fluido, en fluidos base agua, tiene arcillas reactivas aumentando el tamaño de los cortes, la profundidad del pozo implica que a mayor profundidad los cortes tienen menor tamaño, mayor volumen se genera cuando el diámetro del hueco es mayor, pero esto también depende del tipo de operación y características del pozo y en cuanto a las formaciones, aquella que son consolidadas producirán un menor tamaño del corte, mientras las poco consolidadas, los cortes tendrán mayor tamaño. Por último, según Espinosa y Quiroga¹³, adicionan que las altas tasas de ROP afectan también el tamaño de los cortes, será mayor. Una regla general nombrada por Nabahani y Khaje¹⁴, es que el 5% de los lodos pertenezcan a cortes de perforación.

Según Mérida y Rodríguez¹⁵, la búsqueda de hidrocarburos tiene como resultado colateral la acumulación de desechos producto de las operaciones de exploración

¹⁰ BOLAÑOS. Op. Cit., p. 36

¹¹ GBADEBO, Adewale; TAIWO, Adewale & EGHELE, U. Environmental impacts of drilling mud and cutting wastes from the Igbokoda onshore oil wells, Southwestern Nigeria. En: Indian Journal of Science and Technology, 2010. Vol. 3, no.5, p. 504.

¹² MÉNDEZ, Rene; GÓMEZ, Petrona; LEDESMA, Juan y CENICEROS, Claudia. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en tabasco. En: Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 2012. p. 4.

¹³ ESPINOSA, Andrés y QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. Bogotá D.C. CO. 2013. p. 44.

¹⁴NABAHANI y KHAJE. Op. Cit., p. 5.

¹⁵ MÉRIDA, Julio. y RODRIGUEZ, Francisco. Biorremediación de lodos de recortes de perforación base aceite, contaminados con hidrocarburos mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos como surfactantes. En: Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima, 2011. p. 560.

y/o explotación de pozos petroleros, en los años 80, la generación de desperdicios era un tema al que la industria no daba suficiente atención, en especial a la eliminación de recortes y exceso de fluidos de perforación. Caenn, Darley y Gray¹⁶ dice que “La regla de oro, usando las unidades de campo tradicionales, es calcular el volumen aproximado de recortes generados en barriles cada 1000 pies. Por cada hoyo de 12¼ pulgadas se producen cerca de 150 barriles (bbl) cada 1000 pies, lo que significa que para una sola operación de perforación de 10.000 pies se producen cerca de 1500 bbl de recortes”. Actualmente, se ha brindado mayor atención a esto, desarrollando nuevas tecnologías para el manejo, control y disposición de estos cortes.

La generación de los cortes depende de diferentes aspectos, como lo son el fluido de perforación, la profundidad del pozo, diámetro del hueco, formación geológica y el ROP con el que la broca perfora estos cortes son removidos por el equipo de control de sólidos de forma continua.

1.2.1 Composición de los cortes de perforación. Como lo mencionan Oreshkin, Cehvotaev y Perfilov¹⁷, los cortes de perforación contienen alguna cantidad de los fluidos de perforación, y contienen los mismos parámetros químicos de la formación. Esto debe ser en cuenta al realizar una evaluación ambiental, además de la composición del dicho residuo. En la actualidad, las compañías petroleras buscan que los residuos que se generan como producto de la perforación sean controlados de una manera más segura antes de disponerlos en el ambiente para no ocasionar impactos ambientales negativos tan relevantes.

La composición de los cortes de perforación depende de la formación geológica de cada sección perforada y el tipo de lodo que se use, al usar fluidos base agua, los recortes están compuestos principalmente por barita y carbonato de calcio, incluyendo compuestos inorgánicos como bentonita, sales orgánicas, polímeros orgánicos, inhibidores de corrosión, detergentes y biosidas. En forma general se muestra la composición de los cortes de dos maneras, como se observa en el cuadro 2.

¹⁶ CAENN, R., Darley, H.C.H & GRAY, G. R. Op. Cit., p. 618

¹⁷ ORESHKIN, Dmitry; CHEBOTAEV, Alexander &PERFILOV, Vladimir. Disposal of Drilling Sludge in the Production of Building Materials. En: Procedia Engineering, 2015. p. 608.

Cuadro 2. Composición de los cortes de perforación

FUENTE	COMPOSICIÓN
Primera	Partículas que se desprenden del interior de las rocas molidas por la acción giratoria de la broca y generalmente están constituidas por distintos tipos de rocas sedimentadas, minerales naturales.
Segunda	Contenido del fluido de perforación, ya que los cortes suelen estar impregnados del fluido de perforación, y su composición varían de pozo a pozo, esto depende de la fase en la que se está perforando, es decir, implica la profundidad y el diámetro que se está utilizando.

Fuente: ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá 2013. p.45.

Ramírez¹⁸, explica que dentro de la composición de los cortes de perforación se encuentran metales pesados presentes en los cortes de perforación se encuentran el Cadmio, el cual es toxico como el zinc afectando principalmente la salud humana; el Plomo, afecta a la mayoría de los organismos vivos sobre el sistema nervioso; el Mercurio, es neurotóxico y peligroso, se bioacumula en la cadena alimenticia; el Arsénico, es muy toxico, cancerígeno, incluso puede causar la muerte; Cobre, en dosis altas puede provocar irritación en el estómago e intestino, anemia, daño renal y hepático Cromo. Según Schinitman¹⁹, adiciona que estos lodos también pueden presentar metales como Cobalto, Hierro, Selenio, Manganeseo, Molibdeno, Antimonio, Bario, Plata, Talio, Titanio, Estaño, Zinc, Cromo, Vanadio.

1.2.2 Equipos control de sólidos. Esta es la gestión que se le realiza a los residuos de la perforación antes de que el lodo vuelva a entrar en recirculación. Están encargados de eliminar los cortes de perforación, algunos gases y otros contaminantes del lodo, permitiendo la acumulación de estos y posterior obstrucción del sistema. Según Sharif, Nagalakshmi, Srigowri, Vasanth y Uma ²⁰, el diseño del sistema de control de sólidos depende de los tipos de fluidos de perforación usados, de las formaciones perforadas, equipo disponible y de los requisitos específicos. Un

¹⁸ RAMIREZ, Omar. Manejo, clasificación y disposición de residuos peligrosos (cortes de perforación base aceite) en plataformas petroleras. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. México D.F, 2014. p. 17.

¹⁹ SCHINITMAN, N. Metales Pesados, Ambiente y Salud. [Sitio Web]. Bogotá. D.C. CO. [Consultado 15, marzo, 2018]. Disponible en : https://www.ecoportat.net/temasespeciales/contaminacion/metales_pesados_ambiente_y_salud/

²⁰ SHARIF, Ahammad; NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, Reddy; VASANTH; G & UMA, Sankar, K (2017) Drilling Waste Management and Control the Effects. J Adv Chem Eng 7: 166. 2017. p. 2

equipo de control de sólidos estándar este compuesto por zarandas, desgasificadores, desaneradores y destiladores. Los métodos de separación pueden ser mecánicos y químicos, los segundos son un complemento del primero cuando se tienen situaciones con sólidos muy pequeños.

- **Zarandas vibratorias:** como lo indica Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Javier De Chuquisaca²¹, la zaranda es uno de los equipos más importantes de control de sólidos, a través de sus tamices eliminan los cortes, basando su funcionamiento en el tamaño de las partículas y con el componente de vibración mejora esta separación, esta vibración puede ser circular, lineal o elíptico.
- **Desgasificadores:** según Leal y Lizarazo²², el lodo al circular en las operaciones de perforación esta susceptible a contaminarse con el gas de las formaciones atravesadas, los desgasificadores de vacío, remueven el gas por aplicación de vacío al lodo, usados en fluidos pesados y viscosos. Los atmosféricos, desgasifican por medio de fuerza (centrifuga o de agitación), usado para fluidos sin pesos y poco viscosos.
- **Hidro ciclones:** como lo indica Lenis²³, por medio de una bomba centrifuga se alimenta el lodo tangencialmente, la fuerza centrífuga de este equipo permite que la velocidad del decantador se multiplique forzando a la fase pesada hacia la pared del cono, mientras las partículas livianas se desplazan hacia adentro y arriba del remolino, la descarga es por la parte superior
- **Centrifuga decantadora:** según Leal y Lizarazo²⁴, la centrifuga separa los sólidos de la fase liquida que no fueron removidos anteriormente, la velocidad diferencial allí presente permite el transporte de los sólidos por las paredes del bowl, donde por fuerza centrífuga los sólidos se decantan”.

1.2.3 Tratamientos disponibles Una de las grandes preocupaciones de los operadores y autoridades ambientales son la eliminación del agua producida y los cortes generados después de perforar, como lo mencionan Nabahani y Khaje²⁵, por

²¹ UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA SAN FRANCISCO JAVIER DE CHUQUISACA. Equipos mecánicos de control de sólidos. Bolivia.2011. p.4.

²² LEAL y LIZARAZO, Op. Cit., p. 42.

²³LENIS, Efraín. MI SWACO. Curso de control de sólidos.2004

²⁴ LEAL y LIZARAZO, Op. Cit., p. 48.

²⁵ NABAHANI y KHAJE. Op. Cit., p. 18.

esto en los últimos años se han reforzado los controles ambientales, como los sistemas de gestión ambiental con estándares internacionales, permitiendo la identificación, gestión y minimización de ser posibles de los impactos y consecuencias ambientales generados por estas operaciones. Las operaciones Onshore, según Sharif, Nagalakshmi, Srigowri, Vasanth y Uma²⁶, tienen mayor amplitud en opciones para la gestión de residuos, la selección del método de tratamiento depende de varios factores que deben ser evaluados antes de la implementación, esto con el objetivo de garantizar un entorno seguro para el tratamiento de estos residuos.

Como tratamientos para el manejo de los recortes de perforación dispuestos después de las operaciones de perforación se debe tener en cuenta en su evaluación ambiental la composición del lodo, debido a que los cortes contienen cierta cantidad de este. En Campo Castilla, como se puede observar en la investigación de Leal y Lizarazo²⁷, los cortes dispuestos están contaminados por lodos base agua, siendo que sus características fisicoquímicas no sean superadas drásticamente por las normas ambientales establecidas, las propiedades que deben ser controladas son los cloruros, los sólidos totales y pH para al momento de la disposición.

Una solución viable para controlar los desperdicios producidos al perforar pozos, están enfocadas a la reducción de los impactos negativos que esta actividad genera al medio ambiente. Una de las formas de tratamiento de estos fluidos puede ser la solidificación, logrando que el material sea tan fuerte que se puede convertir en un desecho inofensivo, debido a que previene que las sustancias tóxicas se disuelvan a estar en contacto con el medio ambiente. Según Oreshkin, Cehvotaev y Perfilov²⁸, este proceso es la unión del lodo con solventes y cemento, los cuales permiten una unión más sólida de los compuestos sólidos, evitando disolución al contacto con el medio ambiente, se obtiene como resultado un producto que puede ser usado para la construcción.

También se debe considerar opciones para prevenir o disminuir la disposición de estos cortes, se debe empezar desde la fase de pre planificación de las operaciones de perforación. Para esto, Nabahani y Khaje²⁹, dicen que se deben considerar los siguientes inconvenientes, tecnología de perforación, las opciones de eliminación, transporte y tratamiento de los desechos de perforación, impacto de las opciones de eliminación de desechos y costos, este análisis es considerado para obtener

²⁶ SHARIF, NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, VASANTH & UMA. Op. Cit., p. 4

²⁷ LEAL y LIZARAZO, Op. Cit., p. 33.

²⁸ ORESHKIN, CHEBOTAEV y PERFILOV. Op. Cit., p. 609.

²⁹ NABAHANI y KHAJE. Op. Cit., p. 1.

mejores técnicas disponibles para lograr beneficios como la reducción de riesgos de salud, seguridad y medio ambiente, cumplimiento las normas ambientales, reducir los volúmenes de desechos, reducir de los costos de eliminación de fluidos, uso optimizado del producto, reducción de los costos de cierre del sitio, minimizar la contaminación.

Como lo menciona Velásquez³⁰, en el caso específico de Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la ANLA (Autoridad Nacional de Licencia Ambientales), son las entidades encargadas de generar políticas para conservar el medio ambiente, por ello controlan de cerca las actividades extractivas de hidrocarburos, estableciendo las medidas adecuadas para que estas operaciones deterioren lo menos posible el territorio nacional.

Uno de los problemas que genera mayor dificultad en el sitio del pozo, según El-sayed y Abu El-naga³¹, es la eliminación y cortes, los cuales en ocasiones son inestables físicamente y no aptos para ser depositados en relleno sanitario, por esto, los residuos deben ser tratados.

A continuación, Sharif, Nagalakshmi, Srigowri, Vasanth y Uma ³², muestran los métodos actualmente disponibles para el tratamiento y eliminación de los residuos de perforación, como se mencionó anteriormente, en Onshore, los residuos pueden tratarse y utilizarse de forma beneficiosas:

- **Enterramiento en sitio:** Esta es una de las técnicas más comunes para la eliminación de desechos, por su simplicidad, consiste en una excavación natural como vertederos, por su bajo costo y al no requerir transporte de residuos. La desventaja de este es que debe considerarse muy cuidadosamente los riesgos debido a la migración de contaminantes al suelo/agua y que este resulta útil en condiciones anaeróbicas, limitando la degradación adicional. Previo a arrojar el fluido a los vertederos el lodo pasa por un separador para retirar los cortes, esto al finalizar las operaciones de perforación. De igual manera estos vertederos implican una gran alteración al equilibrio ecológico debido a que ocupan territorios³³.

³⁰ VELÁSQUEZ, Johana. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. En: vista de Investigación Agraria y Ambiental. 2017. p. 153.

³¹EL-SAYED y ABU EL-NAGA. Op. Cit., p. 1.

³² SHARIF, NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, VASANTH & UMA. Op. Cit., p. 5-7.

³³ ORESHKIN, CHEBOTAEV y PERFILOV. Op. Cit., p. 608.

- **Pozos de desechos:** su principal propósito es la recolección de los residuos provenientes de la perforación, estos pozos deben estar ubicados estratégicamente para evitar el derrame de los desechos, igualmente deben ser forrados, ya sea por forros sintéticos o naturales, para evitar filtraciones en los cuerpos de agua. Los líquidos remanentes de este pozo serán transportados al sistema de aguas residuales.
- **Biorremediación:** proceso usado de forma natural donde los microorganismos descomponen y degradan las sustancias orgánicas, una vez realizado este proceso los microorganismos se reducen naturalmente, es flexible y puede ser usado para cualquier tipo de cortes, genera pocas emisiones y los desechos se vuelven productos útiles.
- **Desorción térmica indirecta:** método donde se aplican temperaturas superiores al punto de vapor del contaminante del corte, para generar vapor que libere este a la atmósfera o después genere condensación, permitiendo la producción de calor o fabricación de nuevos fluidos.³⁴
- **Compostaje:** mezcla de desechos de perforación con agentes de carga para proporcionar mejor porosidad y potencial de aireación, si estos residuos cumplen con los requisitos de salud pueden usarse para acondicionar el suelo, cubrir vertederos. Este método aumenta las tasas de biodegradación y volatilización siendo una ventaja sobre la diseminación de tierras o la agricultura de tierras en climas fríos³⁵. Como se observó los cortes de perforación, son un residuo que se genera siempre al realizar operaciones de perforación, el cual está compuesto por partes de la formación y químicos presentes en el lodo, el cual pasa a una etapa para eliminación o tratamiento de estos desechos, sin embargo, estas operaciones generan riesgos ambientales que deben ser considerados en la planeación de toda operación para asegurar una disminución en el impacto ambiental que estos residuos puedan generar.

1.3 RIESGO AMBIENTAL

Según Gbadebo, Taiwo y Eghele³⁶, el riesgo, es una medida de pérdida económica o daño expresado en probabilidad de incidente y magnitud de pérdida. En la industria petrolera, se debe realizar una evaluación cuantitativa ya que en esta industria se evidencian riesgos en una amplia variedad de actividades, la ecuación para el riesgo junto con una evaluación de ingeniería permite realizar estimaciones

³⁴ LEAL y LIZARAZO. Op. Cit., p. 51.

³⁵ SHARIF, NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, VASANTH & UMA. Op. Cit., p. 7.

³⁶ GBADEBO, TAIWO y EGHELE. Op. Cit., p. 504.

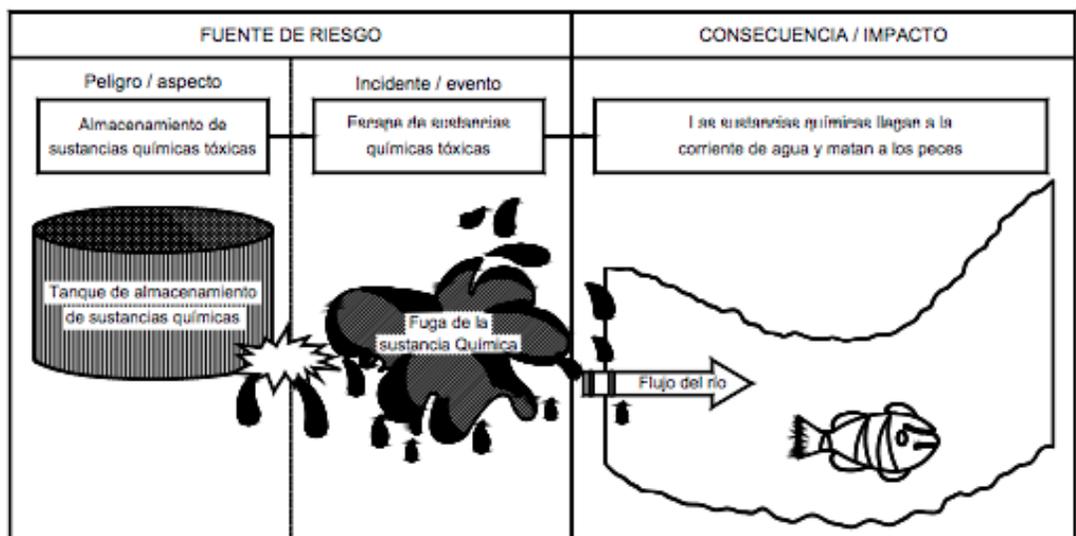
de las consecuencias y frecuencias de los incidentes. La Ecuación 1 muestra la definición de riesgo.

$$\text{Riesgo} = \text{Consecuencia} \times \text{Frecuencia}$$

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC- Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009. p. 1-8

Según la norma GTC 104³⁷, los riesgos ambientales pueden ser para el ambiente, es decir, las actividades de una organización pueden causar un cambio en el entorno, se relacionan con la fauna y flora, la salud y bienestar humano, recursos terrestres, acuáticos y aéreos, la energía y el clima; debido a temas relacionados con el medio ambiente, no cumplimiento de la legislación y criterios existentes, en la Figura 2 se presentan de manera general los términos claves para realizar el análisis de los riesgos.

Figura 2. Terminología de riesgo



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC- Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009. p. 9.

1.2.1 Riesgos ambientales asociados a la disposición de cortes de perforación. En las operaciones de perforación existen varios riesgos debido al ambiente hostil en el que se desarrolla, pozos desafiantes, errores humanos. La seguridad en estas operaciones puede conducir a accidentes, generando pérdidas

³⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC- Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009. p. 1-8.

económicas. Estos riesgos están asociados al entorno que puede ser marino, tierras de cultivo, desiertos, aldeas, etc. Zhang y Theng³⁸, comentan que la contaminación ambiental está influenciada por el entorno natural (viento, lluvia, inundaciones, frío y calor) y factores de la industria como los fluidos de perforación, lodo residual, cortes y material de desecho.

En cuanto a los riesgos ambientales producto de los residuos de los fluidos de perforación, se debe tener en cuenta los aditivos que se han usado para la formulación de los fluidos de perforación usados, donde se debe incluir la composición química, propiedades fisicoquímicas, destino ambiental y transporte, biodegradación en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, potencial de bioacumulación y potencial hacia los receptores sensibles y recepción del medio ambiente.

Dependiendo de los riesgos ambientales, según el Gobierno de Queensland³⁹, los desechos de fluidos de perforación y cortes pueden ser almacenados temporalmente en sumideros o pueden ser usados para la construcción de carreteras, fabricación de ladrillos y acondicionamiento del suelo, estos usos necesitarían de una evaluación del material para conocer el volumen que se espera obtener y pruebas para observar si este desecho tiene las propiedades requeridas para este uso.

1.4 IMPACTOS AMBIENTALES

Según la norma GTC 74⁴⁰, los impactos ambientales son alteraciones de los ciclos normales en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico de los ecosistemas naturales, por la incorporación de materiales y desarrollo de proyectos, obras o actividades humanas. Este cambio puede ser adverso o beneficioso y es el resultado de la interacción de una organización con el entorno que lo rodea, donde se tiene incluida agua, aire, suelo, agua, recursos naturales, fauna, flora y los seres humanos.

³⁸ ZHANG, Shaohui & TENG, Xinxing. Safety Risk Management of Drilling Operations. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development; Ling Wang, E&D Research Institute of Liaohe Oilfield Company; Shuai Wang, China National Offshore Oil Corporation Research Institute; Liangfan Wen, China Petroleum Technology & Development Corporation. 2016. p. 3.

³⁹ QUEENSLAND GOVERNMENT. Characterisation and Management of Drilling Fluids and Cuttings in the Petroleum Industry. Departament of environment and heritage protection. 2013. p. 4.

⁴⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC– Gestión ambiental. Guía para el tratamiento de residuos de fluidos base aceite empleados en la perforación de pozos de petróleo. GTC 74. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2001. p. 2-3.

1.4.1 Impactos ambientales de las actividades de perforación de hidrocarburos. Según Ramírez⁴¹, expone que los impactos ambientales en la industria petrolera, en específico en las actividades de perforación, depende de la actividad, tamaño, complejidad de proceso y naturaleza. Los impactos que genera esta etapa, tal como lo expresa Torres⁴² en su investigación, son generados principalmente por los lodos y cortes de perforación, debido al uso de materiales tóxicos en los fluidos, donde su inconveniente es la generación de residuos contaminantes al ambiente. Otros impactos pueden ser la pérdida de biodiversidad, deforestación, erosión, uso de recursos naturales, ruptura de flujos de agua y ruido.

Se ha observado que después de la limpieza que se les realiza a estos cortes, siguen conteniendo gran variedad de restos orgánicos e inorgánicos, pero esto sucede en especial cuando se usan lodos base aceite. Tal como se muestra Gbadebo, Taiwo y Eghele⁴³, los entornos que se ven afectados de forma directa por la disposición de los cortes de perforación pueden ser tanto en offshore como en onshore, en cuanto a tierra se tienen ambientes pantanosos, tierra seca y agua dulce. En pozos onshore, estos cortes son desechados en pozos de reserva, los cuales pueden filtrarse en el suelo y cuerpos hídricos cercanos.

En el cuadro 3, podemos observar los impactos potenciales de las operaciones de perforación onshore y offshore, lo que nos permite observar los efectos que generan estas actividades.

⁴¹ RAMIREZ, Op. Cit., p. 39.

⁴² TORRES, Karina. Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de hidrocarburos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 12.

⁴³ GBADEBO, TAIWO y EGHELE. Op. Cit., p. 510.

Cuadro 3. Impactos potenciales de las operaciones de perforación

Actividad	Impacto potencial	Componente afectado	Efectos
Onshore	Descargas, Emisiones, Residuos	H/At/B/Aq/T	Requisitos de suministro de agua, ruido, vibración y emisiones de los equipos de la planta y transporte, luz extraña, descargas líquidas: lodos y esquejes, agua de lavado, drenaje, contaminación del suelo: pozos de lodo, derrames, fugas: Eliminación de desechos sólidos: Eliminación de desechos sanitarios, aguas residuales, aguas grises del campamento: emisiones y descargas desde las operaciones de prueba del pozo: ruido adicional y luz de la quema / bengala, Perturbación a la vida silvestre
Offshore	Descargas, Emisiones, Residuos	H/At/B/Aq/T	Descarga al océano: barro, esquejes, agua de lavado, drenaje, aguas residuales, sanitarios y desechos de la cocina, derrames y fugas, Emisiones de los equipos de la planta: ruido y luz: eliminación de residuos sólidos en tierra e impacto en la infraestructura local. Disturbio a organismos bentónicos y pelágicos, aves marinas. Cambios en sedimentos, agua y aire calidad. Pérdida de acceso y perturbación a otros usuarios de recursos marinos. Emisiones y las descargas de las operaciones de prueba de pozos produjeron descargas de agua, quema y llamarada. Efecto del movimiento de buques y helicópteros sobre humanos y vida silvestre

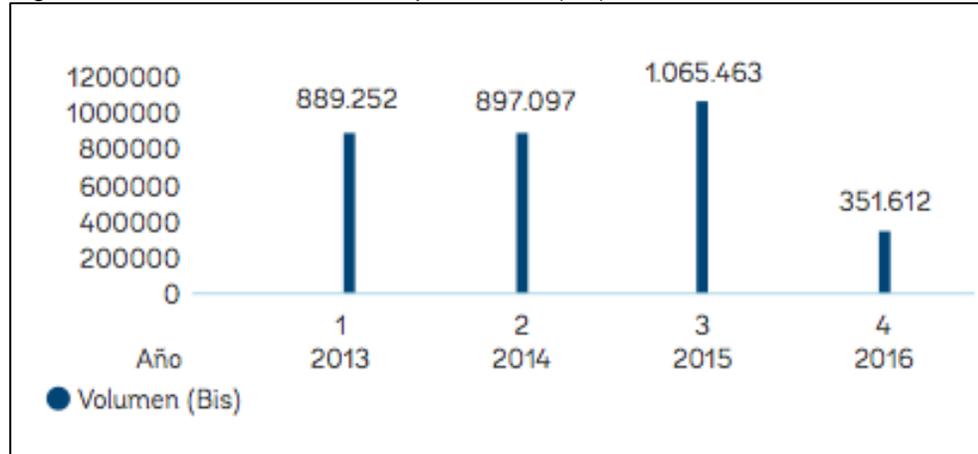
Fuente: SHARIF, Ahammad; NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, Reddy; VASANTH; G & UMA, Sankar, K (2017) Drilling Waste Management and Control the Effects. J Adv Chem Eng 7: 166. 2017. p. 2.

Nota: Documento original idioma inglés, traducido por el autor

Según Ecopetrol⁴⁴, Colombia muestra que el desarrollo de actividades de perforación generó en el 2016, 351.612 barriles de cortes de perforación, como se observa en la figura 3 este volumen disminuyó en 66,99% respecto al 2015.

⁴⁴ ECOPETROL, Reporte Integrado de Gestión Sostenible Ecopetrol S.A. 2016. p. 332

Figura 3. Volumen de residuos de perforación (bbl)



Fuente: ECOPEPETROL, Reporte Integrado de Gestión Sostenible Ecopetrol S.A 2016. p. 332

1.5 MARCO LEGAL

En la siguiente tabla se muestra el marco legal ambiental colombiano que debe ser considerado para los procedimientos de disposición de cortes de perforación.

El Decreto 838 del 2005, el cual es una modificación el Decreto 1713 de 2002, determina como hacer la promoción y facilitación de la planificación, construcción y operación de disposición final de residuos sólidos de perforación, la importancia para esta investigación está en que provee los criterios y metodologías que deben tener los residuos para la disposición final de residuos sólidos, en este caso los lineamientos generales para cortes de perforación.

El Decreto 4741 del 2005, provee la reglamentación para la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos (almacenamiento, identificación, características de peligrosidad y medidas de control y prevención). Junto con la Resolución 2309 de 1986 que reglamenta las normas relacionadas con la disposición, manejo y transporte de residuos especiales.

Resolución 18 1495 del 2009, establece el reglamento para la exploración y explotación de hidrocarburos, la cual permite analizar el cumplimiento de las disposiciones allí resueltas para estas actividades y observar si se consideran los riesgos en esta misma norma.

En cuanto a la normativa que se va a tener en cuenta para el desarrollo de esta monografía, referente a la identificación de riesgos se va a usar la Norma ISO 14001:2015 y para el análisis y evaluación de riesgos ambientales se tendrá en cuenta la metodología planteada en la Norma Une 150008. También se tendrán en consideración las normas para análisis de riesgos ISO 31000, la cual especifica los

principios y directrices para la gestión del riesgo, GTC 137 que presenta los lineamientos para la gestión del riesgo y la GTC 104 donde se presenta el marco integrado de principios, prácticas y criterios para la implementación de las mejores prácticas en la gestión del riesgo ambiental. Más específicamente para la gestión ambiental de residuos sólidos la norma GTC 74, Gestión ambiental, Guía para el tratamiento de residuos de fluidos base aceite empleados en la perforación de pozos de petróleo, como base para el análisis de los parámetros necesarios a evaluar de los riesgos de la disposición de cortes de perforación base agua en Campo Castilla.

2. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA

Este capítulo presenta los elementos más importantes a considerar sobre Campo Castilla, como lo son su localización, sus áreas de influencia bióticas y abióticas, la geología allí presente y los lodos usados en esta operación. Esto permite dar solución al objetivo de descripción de la fuente de generación y la naturaleza de los cortes de perforación en el Campo Castilla de Ecopetrol.

“Campo Castilla se encuentra en la Cuenca de los Llanos Orientales, Meta, 30 km al sur de Villavicencio, cerca de los municipios de Castilla la Nueva y Guamal”. Desde la ciudad de Villavicencio, la carretera que conduce al municipio de Granada, se puede acceder al campo.

La ANH⁴⁵, muestra que la explotación del Campo Castilla inició en 1975, asociación entre Ecopetrol y Chevron, en 25 años extrajeron 94 millones de barriles de crudo, cuando Ecopetrol toma el control del campo (2000), su producción era en ese año aproximadamente de 21.000 BPD, desde entonces se observa un incremento en su producción de petróleo.

Según Ecopetrol⁴⁶, su yacimiento es de crudo saturado (ver propiedades de fluidos del Cuadro 4), como método de producción natural de acuífero activo, permitiendo una explotación con el mantenimiento de presión estática a altas temperaturas de fondo, como métodos de producción artificial se tienen bombeo mecánico y electro sumergible debido a la presencia de crudo extra pesado.

⁴⁵ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH), Llanos Orientales Open Round. [Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2010. p. 1. [Consultado 15, julio, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf)

⁴⁶ ECOPETROL S.A., Carta Petrolera. [Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2010. p. 1. [Consultado 15, julio, 2018]. Disponible en: <http://serviciocliente.ecopetrol.com.co/documentos/carta126/editorial.htm>

Cuadro 4. Propiedades de fluidos Campo Castilla

Campo	Castilla La Nueva
Espesor Petrolífero Original	25 -45 pies
Índice de Productividad	0.1 a 2 bopd/psi
Porosidad	19%
Permeabilidad	1.180 md
Gravedad API	12.5 API
Reservas	800-1000 MBls.
OOIP	6000-7000MBls.
Temperatura @ yto	198 grados F
Presión original del yto	2830 psi
Mecanismo de producción	Empuje de agua fuerte

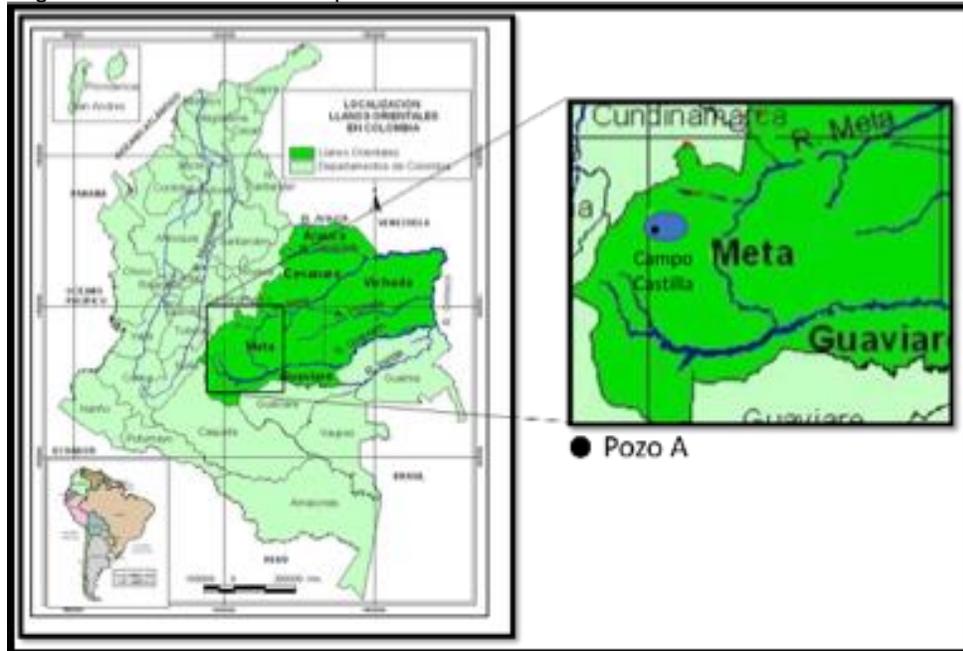
Fuente: RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el Campo Apiay y Castilla La Nueva. (Trabajo de grado). Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga CO. 2008. p. 34.

2.1. LOCALIZACIÓN

Según la ANH⁴⁷, se encuentra en Latitud: 3°49'59" Norte y, Longitud: 73°40' 59' Oeste. En la siguiente figura se observa la ubicación de Campo Castilla en el mapa de Colombia. En cuanto a la producción de petróleo, la cuenca de los Llanos Orientales tiene una producción promedio de 425 mil barriles por día (187 mil pesado, 121 mil medianos y 116 mil livianos. Tiene 118 campos, siendo 41% de los campos totales del país.

⁴⁷AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). Colombian Sedimentary Basins.[Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2013. p. 26. [Consultado 25, agosto, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf

Figura 4. Localización Campo Castilla en Colombia



Fuente: LINEA CULTURAL. Diversidad cultural en los Llanos Orientales. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO [Consultado 24, julio, 2018]. Disponible en: <https://apuntesdecultura34v.wordpress.com/2014/02/23/diversidad-cultural-en-los-llanos-orientales/>

2.2 CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES

Esta monografía se realiza sobre la información obtenida en la tesis "Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el campo castilla de Ecopetrol S.A.", sobre Campo Castilla de Ecopetrol S.A, el cual está en la Cuenca de los Llanos Orientales en la zona este de Colombia.

La ANH⁴⁸, establece que los límites geomorfológicos la Cuenca de Barinas al Norte, la Serranía de la Macarena y el Arco de basamento de Vaupés al sur, el Escudo precámbrico de Guayana al Este y el sistema de fallas de Guaicáramo al Oeste. Ubicada en los departamentos de Arauca, Guaviare, Vichada, Meta y Casanare.

⁴⁸ Ibid.p.27

2.3 GEOLOGÍA

Campo Castilla ubicado en la Cuenca de los Llanos Orientales, en el sector de Apiay Ariai, en la zona noroccidental de la cuenca se encuentra adyacente al piedemonte andino, una zona tectónica que exhibe fallas inversas, fallas de distensión y pliegues asociados. En la figura 5, se puede ver el perfil geomorfológico y estructural la meta y tierras adyacentes, donde se observan de manera general las formaciones presentes en el departamento del Meta.

Figura 5. Perfil geomorfológico del Meta



Fuente: VALENZUELA, Natalia. Especificaciones técnicas y legales para el acondicionamiento de un centro de acopio de cortes de perforación en el municipio de Acacias-Meta. Bogotá D.C. CO. Fundación Universidad de América, 2014. p. 36.

Según Rodríguez⁴⁹ en su estudio, referente a la estratigrafía, muestra la columna estratigráfica del Campo Castilla, como se ve en la Figura 6, las siguientes unidades produce mediante acuífero activo, la unidad K2, con una porosidad promedio de 19%, permeabilidad promedio 1190 md y profundidad promedio de 10500 pies y la unidad K1. La unidad T2 produce mediante capa de gas, pero este yacimiento no se ha desarrollado hasta la fecha.

⁴⁹ RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el Campo Apiay y Castilla La Nueva. (Trabajo de grado). Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga CO. 2008. p. 30

Figura 6. Columna estratigráfica Campo Castilla.

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	FORMACIONES		
CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno	Tardío	Guayabo		
		Plioceno	Temprano			
	TERCIARIO	Mioceno		Tardío Medio	Shale León	
			Oligoceno	Temprano Tardío	F. Carbonera	Areniscas Superiores
		Lutita E				
		Unidad C1				
		Areniscas Carbonera				
Unidad C2						
Lutita E3						
Unidad T1						
Unidad E4						
Eoceno Tardío	Temprano Tardío	F. Mirador	Unidad T2			
MESOZOICO	CRETACEO	Paleoceno	Priaboniano	Hiato		
		Tardío	Mastrichtiano Campaniano Santoniano Coniaciano Turoniano Cenomamiano	F. Guadalupe	K1	
					K2	
Temprano	Albiano Aptiano	Hiato				

Fuente: RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento de workover en el Campo Apiay y Castilla la Nueva, Bucaramanga CO. 2008. p.32

Las formaciones allí presentes, tienen diferentes componentes, siendo esto determinante, en el momento del diseño de los fluidos de perforación para esta operación, adicionalmente, es importante conocer esta conformación para comprender la composición de los cortes de perforación.

- Formación Guayabo, está conformada por arenas cuarzosas, con intercalaciones de arcillolitas.
- Formación León, conformada por lutitas.
- Formación Carbonera, la unidad lutita E4, tiene secuencia de lutitas con intercalaciones de arcillolitas y limonita, la unidad T1, compuesta de arenas sueltas, con intercalaciones de areniscas, limonitas, lutitas y de arcillolitas, la unidad lutita E3, paquete secuencial de lutitas con capas de arcillolitas, unidad C2, contiene arcillolitas y secuencias de arenas e intercalaciones de limonitas, unidad arenisca, contiene arenas con secuencias arcillolitas y limonitas, unidad C1, arcillolitas, con intercalaciones de limonitas y areniscas, Unidad E, lutitas con intercalaciones de arcillolitas, areniscas y limonitas, unidad arenisca superior, paquetes arenosos y arcillosos, con secuencias de arcillolitas y arenas.
- Formación Mirador, compuesta por arenisca cuarzosa (grano fino a grueso), con intercalaciones delgadas de shale.
- Formación Guadalupe, conformada por la unidad K1 y K2, donde K1 es una secuencia de arenosas y en su parte superior contiene areniscas de grano fino cementada con cuarzo y estilolitas, mientras la unidad K2, contiene intercalaciones de areniscas y shales, donde la arenisca (20 pies) es de un grano medio – muy fino, con cemento sílice, cuarzo, con calcio⁵⁰.

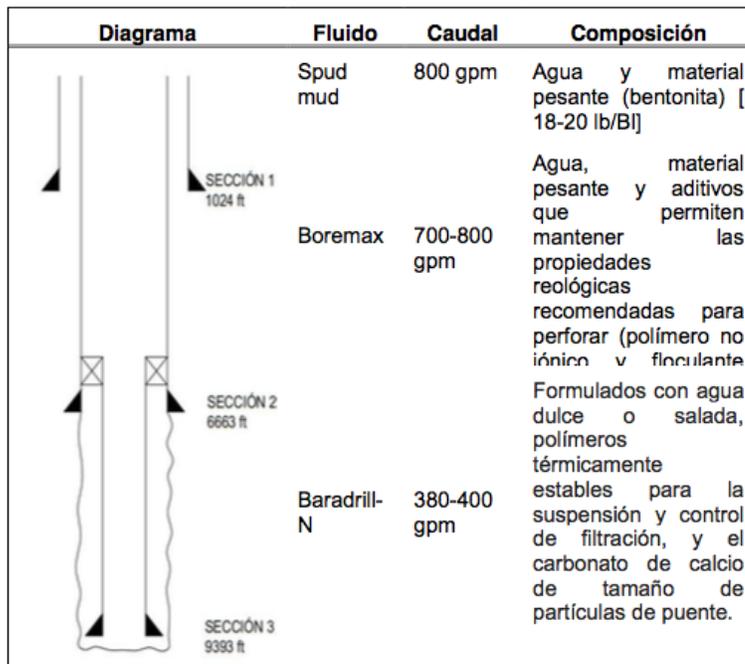
2.4 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN CAMPO CASTILLA

Para el proceso de perforación del pozo A, se usaron los siguientes fluidos diferentes, como se muestra en la Figura 7 donde se resume el diagrama de pozo y donde se muestra las características principales de los fluidos usados. Según Castillo y Rojas⁵¹, en su tesis se puede observar que para perforación del pozo A en Campo Castilla, para la fase 1 se usó Spud Mud, un lodo liviano, Boremax fue usado para la fase 2, un lodo pesado y para la fase 3 se utiliza el fluido Baradil-N, lodo liviano.

⁵⁰ CASTILLO, Xiomar y ROJAS, Sergio. Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el campo castilla de Ecopetrol S.A. Bogotá D.C CO: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. 2017. p. 40.

⁵¹ Ibid.p.36-38

Figura 7. Diagrama de Pozo A Campo Castilla.



Fuente: CASTILLO, Xiomar y ROJAS, Sergio. Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el campo castilla de Ecopetrol S.A. Bogotá D.C. CO: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. 2017. p. 42.

2.4.1 Spud Mud. Este es un lodo que se usa para profundidades superficiales, es un lodo base agua, contiene bentonita que esta floculada con cal, lo que le permite la remoción de grandes cortes a poca profundidad y bajo costo⁵². En la Cuadro 5, se pueden ver las propiedades de este fluido.

Cuadro 5. Propiedades de Spud Mud

Propiedad	Min	Max	Propiedad	Min	Max
Density ppg	10.0	11.0	Sand %		1
Funnel Viscosity sec/qt	50	65	LGS(% by Vol) %		6
Plastic Viscosity cp	15	20	MBT ppb eq.		17.5
Yield Point lbf/100_ft2	20	30	pH	8.0	8.5
Yield Stress lbf/100_ft2	6	8	API Filtrate mL/30min	N/C	N/C
Gel 10/10/30	N.P	N.P			

Fuente: ECOPELROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. Bogotá. D.C. CO 2013. p. 13.

En el Cuadro 6 Se pueden ver la formulación estándar del fluido de perforación Spud

⁵² SCHULMBERGER. Oil Glossary. Spud mud. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO[Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/s/spud_mud.aspx

Mud, donde el Aquagel, es bentonita sódica, donde su función es actuar como viscosificante y reductor de filtrado⁵³, X-TEND II, es un floculante selectivo que favorece la remoción de aglomerados y controla el peso del lodo⁵⁴, barita es un mineral que se encuentra compuesto por caliza, arenisca y puede contener ftanita, cuarzo y sulfuros metálicos, es usado como densificante ⁵⁵, por ultimo esta la soda cáustica, es hidróxido de sodio, usado en los lodos base agua para aumentar el pH y la alcalinidad⁵⁶.

Cuadro 6. Formulación del fluido Spud Mud

Producto	Concentración, lpb
AQUAGEL	10 – 12
Soda Cáustica	0.1 – 0.15
X-TEND-II	0.03 – 0.06
BARITA	194

Fuente: ECOPETROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. Bogotá. D.C. CO. 2013. p. 13.

2.6.2 Boremax. Lodo de perforación base agua no disperso, de alto rendimiento por sus propiedades inhibidoras, bajo en coloidales. Actúa muy bien en condiciones extremas, en la Cuadro 7, se puede observar las propiedades este fluido.

Cuadro 7. Propiedades de Boremax

Propiedad	Min	Max	Propiedad	Min	Max
Density ppg	9.0	9.0	Sand %	0.0	0.5
Funnel Viscosity sec/qt	60	80	LGS(% by Vol) %	0.0	6.0
Plastic Viscosity cp	20	25	MBT ppb eq.	0.0	5.0
Yield Point lbf/100 ft2	30	35	pH	9.0	9.5
Yield Stress lbf/100 ft2	8	10	API Filtrate mL/30min	4.5	5.0
Gel 10/10/30	N.P	N.P			

Fuente: ECOPETROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. Bogotá. D.C. CO. 2013. p. 9.

⁵³ BAROID IDP. Aquagel. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 24, agosto, 2018] Disponible en: <https://www.baroididp.com/idp/products-applications/products/nsf-products/aquagel.html>

⁵⁴ ECOPETROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO, sec. Publicación. 2013. p. 13. [Consultado 25, agosto, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/280520736/Programa-de-Fluidos-Castilla-192-V1>

⁵⁵SCHULMBERGER. Oil Glossary: Barite [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/barite.aspx>

⁵⁶SCHULMBERGER. Oil Glossary. Caustic Soda [Sitio Web]. Bogotá: [Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/caustic_soda.aspx

En el siguiente Cuadro 8 están descritos los componentes de este sistema. Su comportamiento es similar al de los fluidos base aceite, a un costo como base agua y permite minimización del daño al medio ambiente. Los componentes de mayor relevancia y que atribuye las propiedades de alto rendimiento son los polímeros no iónicos, bentonita Premium y la mezcla polimérica⁵⁷.

Cuadro 8. Componentes del fluido Boremax

DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN PRIMARIA
Mezcla de bentonita Premium y polímeros	Maximiza el rendimiento de la bentonita
Goma Xantica	Viscosificante
Almidón modificado	Control de filtrado
Almidón modificado	Control de filtrado
Mezcla de polímeros específicamente diseñados para Boremax	Control de filtrado
Fuertes poliacrilatos	Da reología, fuerza de geles y control de pérdida de fluidos.
Formula de poliacrilamidas, polímero no iónico con un alto peso molecular	Floculante Encapsulador Inhibidor
Poliacrilamida de peso molecular bajo	Inhibidor de arcilla y estabilidad del shale (Específicamente Illita)
Amina anfoterica	Inhibidor de arcilla (Esmectita, Illita o mezcla de arcillas)
Hidróxido de sodio y potasio	Provee alcalinidad
Granos de mármol dimensionados	Agente de puenteo
Barita	Agente pesante

Fuente: MALDONADO, Ángela. Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de alto rendimiento aplicado al campo Balcón como sustitutos de lodo base aceite. En: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería de petróleos. Bucaramanga CO, 2006. p. 67.

2.6.3 Baradril-N. Este es un fluido de perforación diseñado para lograr la máxima producción, proporcionando un control efectivo de la pérdida de fluido y estabilidad de la formación. En el Cuadro 9 se pueden observar sus propiedades.

Cuadro 9. Propiedades de Baradril-N

Propiedad	Min	Max	Propiedad	Min	Max
Density ppg	10.9	11.0	Sand %	0.0	1.5
Funnel Viscosity sec/qt	45	50	LGS(% by Vol) %	0.0	6.0
Plastic Viscosity cp	12	20	MBT ppb eq.	0.0	7.5
Yield Point lbf/100_ft2	22	25	pH	9.5	10.5
Yield Stress lbf/100_ft2	6	8	API Filtrate* mL/30min	5.0	5.5
Gel 10/10/30	N.P	N.P			

Fuente: ECOPETROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. Bogotá D.C. CO. 2013. p. 10.

⁵⁷ MALDONADO. Op. Cit., p. 67.

Este lodo es formulado con agua o salmuera, con excelentes características de lubricación para conseguir una mejor perforación, para su preparación no se requieren equipos especiales de mezcla⁵⁸. En el siguiente Cuadro 10, enumera los productos y concentraciones para formular este lodo, donde sus componentes principales son viscosificadores, control de filtrado, densificador, control de alcalinidad.

Cuadro 10. Formulación de lodo Baradril-N

Additive	Function	Typical concentrations, lb/bbl (kg/m ³)
N-VIS	Viscosifier	0.25-1 (0.7-3)
N-VIS P PLUS	Viscosifier/Filtration control	1-5 (3-14)
N-DRIL HT PLUS	Filtration control	2-10 (6-29)
BARACARB 5/25/50/150	Weighting/Bridging agent	As needed
BARABUF	Alkalinity	0.1-3.0 (0.3-9)

Fuente: BAROID FLUID SERVICES. Fluid Handbook. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 24, agosto, 2018]. Disponible en: https://www.energysupplychain.com/technical_library/DS-Baroid%20Fluid%20Services%20Fluids%20Handbook-Halliburton-2006.pdf

2.5 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE CORTES CAMPO CASTILLA

Los cortes de perforación en campo Castilla tienen el siguiente manejo, tal como lo muestran Castillo y Rojas⁵⁹, cuando el lodo sale del pozo pasa al sistema de control de sólidos para una remoción primaria (2 zarandas primarias y 3 secundarias), donde se remueven los cortes con un tamaño mayor a 75 micrones, en el sistema secundario se encuentran los desarenadores, desarcilladores y centrifugas, donde se remueven las partículas finas del lodo. Las unidades del sistema de control de sólidos descargan los cortes a un tanque de residuos (Catch Tank), donde los cortes son deshidratados con una unidad de dewatering, posterior son mezclados con cal para estabilizar el pH y disponerlo.

Estos cortes tienen las siguientes características físicas mostradas en el Cuadro 11, después de su paso por el sistema de control de sólidos, importantes a tener en consideración para entender posteriormente los riesgos que conllevan la disposición de estos.

⁵⁸ HALLIBURTON. Baradril-N Reservoir Drilling Fluid System. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO: [Consultado 24, agosto, 2018]. Disponible en: <https://www.halliburton.com/en-US/ps/baroid/fluid-services/reservoir-fluids-solutions/drill-in-fluid-systems/baradril-n-reservoir-drilling-fluid-system.html>

⁵⁹ CASTILLO y ROJAS. Op. Cit., p. 43.

Cuadro 11. Características físicas de corte de perforación en Campo Castilla después de su paso por el sistema de control de sólidos.

Caracterización	Parámetro	Unidad	Corte de perforación
Características físicas	Acidez intercambiable	Meq/100g	<0,50
	Capacidad de intercambio	Meq/100g	10,8
	Conductividad		600/25,0
	Humedad a 105 gr c	% peso	1,11
	pH	Uni. pH	10,5
	Carbonatos	Meq/L	32,2
	Bicarbonatos	Meq/L	6,26
	Cloruros	mg Cl./kg	68
	Sulfatos	mg SO ₄ /kg	57
	Carbono orgánico total	mg/kg	8651

Fuente: Modificado ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá D.C. CO. 2013. p. 75.

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE CAMPO CASTILLA

El área de influencia es donde los impactos ambientales generan algún efecto, en el cual se vincula el espacio físico, biótico y social. Para esta investigación se va a tener en cuenta criterios para la delimitación del área de influencia, directa (AID) e indirecta (AII), los aspectos a considerar son bióticos (ecosistemas, flora y fauna), físicos (suelos, cuencas hidrográficas e hidrología) y sociales (límite veredal, municipal, influencia económica).

Para Campo Castilla, las áreas de influencia están localizadas en los municipios de Guamal y Castilla la Nueva (departamento del Meta).

2.6.1 Ecosistemas presentes Llanos Orientales. Los ecosistemas presentes en los Llanos orientales, tal como se indica la Universidad Nacional⁶⁰, están principalmente influenciados por la estacionalidad hídrica de la zona, lo que genera cambios en la disponibilidad de agua y los rangos de humedad determina la estacionalidad hídrica, permitiendo la diferencia entre los ecosistemas allí presentes:

- **Bosque húmedo tropical:** su régimen de precipitaciones es alto, posee gran diversidad tanto de animales como plantas.

⁶⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL, Estudio regional de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región de Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia. Bogotá D.C. CO: Departamento de Biología. 2012. p. 35-80.

- **Bosque de Galería:** asociados a ríos, ya sean permanentes o temporales, poseen una gran vegetación por esta disponibilidad de agua de los sistemas lóticos (ríos y caños), lo cual es característicos de bosques húmedos tropicales.
- **Sabana estacional:** este ecosistema tiene diferentes hábitats en él, esto se depende la cobertura y consistencia de especies leñosas, permitiendo una alta diversidad de artrópodos.
- **Sabana Hiperestacional:** es un ecosistema que presenta relevantes cambios en su régimen hídrico, además posee suelos muy pobres con contenido de aluminio, arcillas, carbono y nitrógeno, lo que no le permite tener altos valores de diversidad, debido a que se encuentra limitada a colonización por artrópodos.
- **Sabana semiestacional:** son zonas que poseen drenaje de fondo poco profundo, llenada por agua lluvia. Influenciado por las dinámicas climáticas, identificadas en dos estaciones (seca y húmeda). Su vegetación al igual que la fauna puede resistir periodos de inundación y con ambientes húmedos.
- **Lagunas:** tienen altas temperaturas, con alta diversidad de fauna y gracias a sus variables fisicoquímicas se encuentran allí varias agrupaciones bióticas. Gran parte del aporte de sus nutrientes provienen de la descomposición de la vegetación.

2.6.2 Medio Biótico

2.6.2.1 Ecosistemas terrestres: según lo indicado por Ecopetrol y Consorcio Megaoil⁶¹, en el territorio de los Llanos Orientales se evidencia presencia de sequias estacionales, gran cantidad de agua, escasas de nutrientes, fuegos recurrentes, generando diversos factores naturales promoviendo la diversificación biológica. Sus ecosistemas están influenciados por intervención de diferentes actividades humanas como lo son la extracción de recursos naturales, agricultura, ganadería, entre otros.

- **Flora:** el Área de Influencia directa está compuesta por 39 tipos de coberturas de la tierra, destacándose por su representación en proporción de área: los pastos limpios, el cultivo de palma de aceite y el bosque de galería. Bosque Galería: 297 individuos distribuidos en 29 familias, 48 géneros y 64 especies. Las especies fustales de mayor abundancia son Palo Amarillo, Turno blanco, Lacre, Tablón, Algodoncillo y Pavito. En cuanto a especies endémicas amenazadas en esta zona se consideran especies como el Cedro, Comino crespo, Achiotillo y la Palma Boba.

⁶¹ ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOIL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Colombia: Bogotá D.C. CO, 2014. p. 16.

En cuanto al Área de Influencia Directa está compuesta por 42 tipos de coberturas de la tierra, destacándose por su representación en proporción de área: los pastos limpios, el cultivo de palma de aceite y el bosque de galería, al igual que el All.

- ❖ Territorios artificializados: referente a las zonas urbanizadas (ciudades, poblaciones y áreas periféricas usadas para fines comerciales, industriales o recreativos. Estos son el municipio de Guamal y Castilla La nueva.
- ❖ Territorios agrícolas: dedicados a producción de alimentos y otras materias primas, en esta zona se pueden encontrar:
 - ✓ Cultivos transitorios como lo son los cultivos de patilla y calabacín (55.88ha), cereales (arroz 296.83ha y maíz 44.18ha), tubérculos (yuca 13.31ha)
 - ✓ Cultivos permanentes herbáceos (piña 13.42ha, caña 0.9ha, plátano 39.45ha)
 - ✓ Cultivos permanentes arbustivos (piñón 4.84ha, cacao 13.11ha)
 - ✓ Cultivos permanentes arbóreos (mango 3.57ha, cítricos 169.95ha, palma de aceite 8365.75ha)
 - ✓ Mosaico de pastos y cultivos 121.69ha
 - ✓ Cultivos agroforestales 84.4ha (cedro, Caoba, Abarco, Trompillo)
 - ✓ Pastos (limpios 17647.07ha, arbolados 756.01ha, enmalezados 584.14ha)
- ❖ Bosques: en esta categoría se encuentran los bosques densos (14.33ha), bosque galería (4088.57ha), plantaciones forestales (176.32ha), herbazal, zonas arenosas naturales (690.81ha) y tierras degradadas (8,11ha).
- ❖ Áreas húmedas: zonas pantanosas (246.24ha).
- ❖ Superficies de agua: ríos (420,08ha); lagunas, lagos y ciénagas naturales (47.28ha); cuerpos de aguas artificiales (laguna de oxidación 2.16ha y estanques para acuicultura 144.11ha).

- **Fauna:**

Cuadro 12. Área de Influencia Indirecta

Grupo	# de especies Cuenca Orinoco	Familias dominantes	Nombre común
Anfibios	266	Hylidae (51,1%) Leptodactylidae (28,9%)	Rana
Reptiles	290	Dactyloidae (16,6%) Teiidae (16,6%)	Camaleón Lagarto
Avifauna	206	Tyrannidae (11,65%) Thraupidae (9,7%)	
Mamíferos	318	Phyllostomidae (40,6%) Vespertilionidae (7,8%)	Murcielago Chimbilay

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 279-315.

Cuadro 13. Área de Influencia Directa

	# de especies	Familias dominantes	Nombre común
Anfibios	26	Hylidae (10 especies) Leptodactylidae (10 especies)	Rana
Reptiles	29	Dipsadidae (24%)	Culebras cazadoras
Aves	165	Tyrannidae (15 especies) Thraupidae (15 especies)	
Mamíferos	46	Phyllostomidae (20 especies)	Chimbilay

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá. D.C. CO, 2014. p. 315-360.

2.6.2.2 Ecosistemas acuáticos. Cuadro 14 y Cuadro 15 muestran cómo se encuentran caracterizados los ecosistemas acuáticos de la zona, según lo indicado por Ecopetrol y Consorcio Megaoil⁶².

Cuadro 14. Área de Influencia Indirecta

Cuenca	Especie	No. Especies	
		Ecosistemas loticos	Ecosistemas lenticos
Río Meta	Perifiton	62	37
	Fitoplancton	55	34
	Zooplancton	7	36
	Macroinvertebrados	33	35

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 361.

⁶² Ibid., p. 360-383.

Cuadro 15. Área de Influencia Directa

Corriente	Descripción
Caño Grande (Caño Humachica)	Fitoplancton: 32 especies, perteneciente a 22 familias, 15 órdenes, de las clases Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Zygnematophyceae y fragilariophyceae. Perifíton: 10 especies, 6 familias, 4 órdenes de las clases Cyanophyceae, Bacillariophyceae y Fragilariophyceae.
Caño Grande	
Caño Tres Ranchos	
Caño Cachirre	Fitoplancton: 38 especies, pertenecientes a 23 familias, 14 ordenes, de las clases Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Zygnematophyceae, Euglenophyceae y fragilariophyceae. Perifíton: 7 especies, 5 familias, 4 órdenes de las clases Cyanophyceae, Bacillariophyceae y Chlorophyceae Bentos: 2 especies, pertenecientes a 2 familias.
Caño Cacayal	

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOIL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 381.

2.6.3 Medio abiótico: según lo indicado por Ecopetrol y Consorcio Megaoil⁶³, el medio abiótico se encuentra caracterizados en diferentes categorías, siendo de gran importancia para este estudio, suelos e hidrología de la zona, como se describe a continuación.

2.6.3.1 Suelos. Piedemonte, es el paisaje predominante, de los cuales es característico los siguientes suelos:

- **Abanico aluvial:** son suelos originados por depósitos diluviales finos. Estos suelos son profundos, drenados, con contenido de arcilla, alta saturación de aluminio. Con pH ácido, bajo contenido de bases totales (Ca, Mg y K).
- **Laderas coluviales:** son suelos drenados, profundos, con alta presencia de aluminio, poco erosionado. Suelos extremadamente ácida, bajo contenido de bases totales (Ca, Mg y K).
- **Plano de inundación de Río Meándrico:** suelo mal drenado, están originados por depósitos aluviales gruesos, se inunda frecuentemente, suelos superficiales. Suelos extremadamente ácida, muy bajo contenido de bases totales (Ca, Mg y K).

⁶³ Ibid., p. 58-84.

- **Plano de inundación de río trenzado:** son suelos bien drenados, saturación alta de aluminio, bajo contenido de materia orgánica. Suelos extremadamente ácida, bajo contenido de bases totales (N y P).
- **Terraza agradacional:** originado por depósitos de terraza aluvial fino, drenados, contienen arcillas, muy alta saturación de aluminio.

2.6.3.2 Hidrología

Cuadro 16. Área de Influencia Indirecta

TIPO DE SISTEMA	
Sistema Loticos	Río Humedea, Río Guamal, Río Negro
Sistema Lenticos	301 cuerpos lenticos: 199 acuicultura continental, 2 lagunas de oxidación, 19 cuerpos de agua artificiales, 49 lagunas naturales, 27 pantanosas (bajo inundables) y 5 morichales.

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOIL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 102-103.

Cuadro 17. Área de Influencia Directa

TIPO DE SISTEMA	
Sistema Loticos	Río Metica, Río Humea, Río Pajure, Río Guamal, Subcuenca del Río Guayuriba, Río Negro
Sistema Lenticos	88 cuerpos de agua artificiales, 309 estanques para acuicultura continental, 3 lagunas de oxidación, 123 lagunas, lago y ciénagas naturales, 1 morichal y 116 zonas pantanosas

Fuente: ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOIL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Bogotá D.C. CO, 2014. p. 114-176.

3 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE CORTES EN EL POZO A DE CAMPO CASTILLA

La disposición de cortes de perforación del pozo A de Campo Castilla, al ser una operación onshore la disposición de los lodos se hacen en pozos de reserva, debido a su gran cantidad, estos junto a los recortes se filtran en su mayoría al suelo y cuerpos de aguas adyacentes, por medio de escorrentía o precipitación. Según Velásquez⁶⁴, el contenido de metales pesados y de hidrocarburos de los desechos de perforación en tierra es capaz de contaminar el medio ambiente generando efectos sobre la salud humana.

A continuación, se realizará la identificación de impactos ambientales para esta operación en específico, al separar las dos fases (líquida y sólida), el lodo resultante al provenir de un lodo base agua, su manejo es como de agua industrial, mientras la fase sólida (cortes de perforación) este se mezcla con cal viva a estabilizar la cantidad de agua.

Cuadro 18. Identificación de impactos ambientales

Proceso	Actividad	Componente natural	Aspecto ambiental	Efectos ambiental	Impacto ambiental
Gestión de cortes de perforación	Disposición de los cortes de perforación	Suelo	Generación de residuos peligrosos	Modificación de los parámetros fisicoquímicos del suelo	Aumento de concentraciones de metales pesados, hidrocarburos, grasas y aceites. Causado salinización en los suelos
					Modificación de hábitats terrestres
					Cambio en la capacidad productiva del suelo
				Afectación en el desarrollo de procesos naturales del suelo	Migración de especies (repíeles, anfibios y mamíferos)

⁶⁴ VELÁSQUEZ. Op. Cit., p. 161.

Cuadro 18. (Continuación)

	Deshidratación de lodos	Agua	Generación de residuos peligrosos	Contaminación de recurso hídrico	Afectación de afluentes hídricos cercanos por escorrentía
			Vertimientos de aguas residuales	Modificación en las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas superficiales	Disminución de la calidad de agua por el aumento pH
	Manejo de cortes de perforación	Socioeconómico	Generación de residuos peligrosos	Afectación de poblaciones aledañas a	Aumento en olores ofensivos, lo que genera conflicto en la comunidad
			Ocupación de terrenos	Campo Castilla	Modificación de costumbres y hábitos

4 RIESGOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA DISPOSICIÓN DE CORTES EN CAMPO CASTILLA

Para la determinación de los riesgos, asociados a los impactos ambientales previamente identificados en el capítulo anterior, se tendrá en cuenta los parámetros establecidos en la norma GTC 104 y sus definiciones. El riesgo ambiental es medido según la probabilidad de ocurrencia de un evento, en este caso del impacto ambiental, al cual posteriormente se le podrá plantear posibles tratamientos para mitigar estas amenazas.

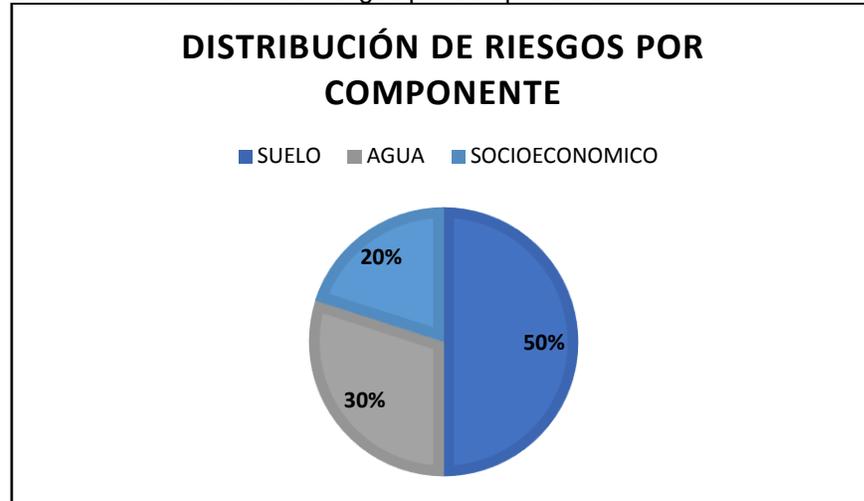
La identificación de los riesgos se realizó teniendo en cuenta la relación entre los componentes naturales como lo son agua, suelo y socioeconómico y los impactos ambientales generados por las actividades relacionadas a la disposición de cortes de perforación en Campo Castilla.

Cuadro 19. Identificación de riegos

Actividad	Componente ambiental	Aspecto ambiental	Efectos ambientales	Impacto ambiental	Riesgo
Disposición de los cortes de perforación	Suelo	Generación de residuos peligrosos	Modificación de los parámetros fisicoquímicos del suelo por aumento de concentraciones de metales pesados, hidrocarburos, grasas y aceites.	Salinización de los suelos	Perdida de fertilidad
					Perdida de cobertura vegetal
					Pérdida capacidad portantes
				Modificación de hábitats terrestres	Compactación del suelo
					Extinción de microfauna
					Destrucción del hábitat
					Pérdida de cosechas
Deshidratación de lodos	Agua	Vertimientos de aguas residuales	Modificación en las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas superficiales	Cambio en la capacidad productiva del suelo	Disminución de productividad de cultivos
					Migración de especies (repíteles, anfibios y mamíferos)
				Modificación en valores de pH, DBO, DQO5, O2 Disuelto	
					Disminución de la calidad de agua por el aumento pH
				Cambios en procesos metabólicos de las especies acuáticas	
				Cambios en regímenes de agua	
Manejo de cortes de perforación	Socioeconómico	Generación de residuos peligrosos	Aumento en olores ofensivos	Conflictos con las comunidades	Aumento de enfermedades respiratoria
					Pérdida del sentido del olfato
		Ocupación de terrenos con vocación agrícola	Cambio en el uso del suelo	Modificación de costumbres y hábitos	Desplazamiento de población
					Cambios en las formas de tenencia de la tierra

En el Cuadro 19, se identificaron 20 riesgos ambientales, categorizados en los siguientes componentes naturales, como se muestra en la Grafica 1.

Grafica 1. Distribución de riesgos por componente



Para cada uno de los componentes se tuvo en cuenta los posibles impactos que se pueden generar por la actividad tanto de disposición como de manejo de estos cortes de perforación, como se puede evidenciar en la Grafica 1, el componente suelo es aquel que tiene mayor número de riesgos asociados, esto debido principalmente por el tipo de operación que se realiza y el manejo actual que se le da a estos residuos; seguido del componente agua, el cual se ve afectado directamente por la disposición tanto de los residuos sólidos como de los lodos.

4.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGOS

Usando la metodología establecida por la norma GTC 104⁶⁵, se realizará el análisis y evaluación de los riesgos, como primera medida se identificará estos impactos, con el fin de identificar las fuentes de riesgo, lo que permitirá a su vez identificar peligros, aspectos ambientales e incidentes potenciales. Para el análisis de los riesgos identificados se usará el tipo cualitativo, debido a que no se puede realizar el análisis cuantitativo completo por el tipo de investigación que se está realizando. Este análisis por medio de una escala establecida que permite la evaluación de los impactos originados en cada evento y su posible ocurrencia. Según la norma GTC 104 y adaptada a esta investigación el Cuadro 20, presenta la escala de medida cualitativa de la posibilidad de ocurrencia de los riesgos previamente identificados y

⁶⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC– Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009. p. 32/

el Cuadro 21 se evidencia escala según el grado de intensidad de cada uno de los riesgos.

Cuadro 20. Medición cualitativa de la posibilidad

Nivel	Descriptor	Descripción
5	Frecuente	Ocurrencia alta
4	Probable	Ocurrencia probable
3	Posible	Ocurre pocas veces
2	Improbable	Ocurrencia baja
1	Imposible	Ocurrencia en circunstancias excepcionales

Cuadro 21. Medición cualitativa del impacto

Nivel	Descriptor	Descripción
4	Grave	Ocasiona contaminación de las áreas de influencia directas, muerte, grandes costos financieros, afectación de operaciones.
3	Significativo	Contaminación de las áreas de influencia directas, lesiones extensas, pérdida de capacidad productiva, pérdida financiera importante.
2	Moderado	Contaminación áreas indirectas, afectación en salud de las poblaciones.
1	Insignificante	No hay impacto ambiental significativo

Con la definición de estas escalas, se realizará el establecimiento de la matriz de interacción entre los riesgos generados y la posibilidad de ocurrencia que ocurren por la gestión de cortes de perforación

Los tres niveles de riesgos establecidos (alto, medio, bajo) según el grado e intensidad de su presencia, como se muestra en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Matriz de Nivel de riesgo: análisis cualitativos del riesgo

Posibilidad	Impacto			
	Grave	Significativo	Moderado	Insignificante
Frecuente	A	A	A	M
Probable	A	A	M	M
Posible	A	M	M	B
Improbable	M	M	B	B
Imposible	M	B	B	B

Convenciones:

A, riesgo alto, es necesaria la atención por parte de la alta dirección.

M, riesgo moderado, se debe especificar la responsabilidad de la dirección.

B, riesgo bajo, gestionado mediante procedimientos de rutina.

4.2 VALORACIÓN CUALITATIVA

Como se muestra en el Cuadro 23, de los 20 riesgos identificados, 8 de ellos tienen un nivel de riesgo alto, 7 medios y 5 de ellos bajos. Estos niveles de riesgo están asociados principalmente con la clasificación de gravedad previamente definida, la cual en un 40% tiene un impacto grave y significativo en los componentes ambientales, pero al ser comparado con la probabilidad de frecuencia, el nivel de riesgo ocurrencia disminuye sustancialmente. Esto se debe principalmente a que el tipo de lodo usado en estas operaciones es un fluido base agua, el cual, a pesar de tener aditivos químicos para obtener las propiedades necesarias para una adecuada perforación, los cuales son controlados previamente a la disposición de los cortes, su fase acuosa es agua, la cual disminuye significativamente cualquier impacto que se pueda generar.

Cuadro 23. Valoración cualitativa de los riesgos identificados

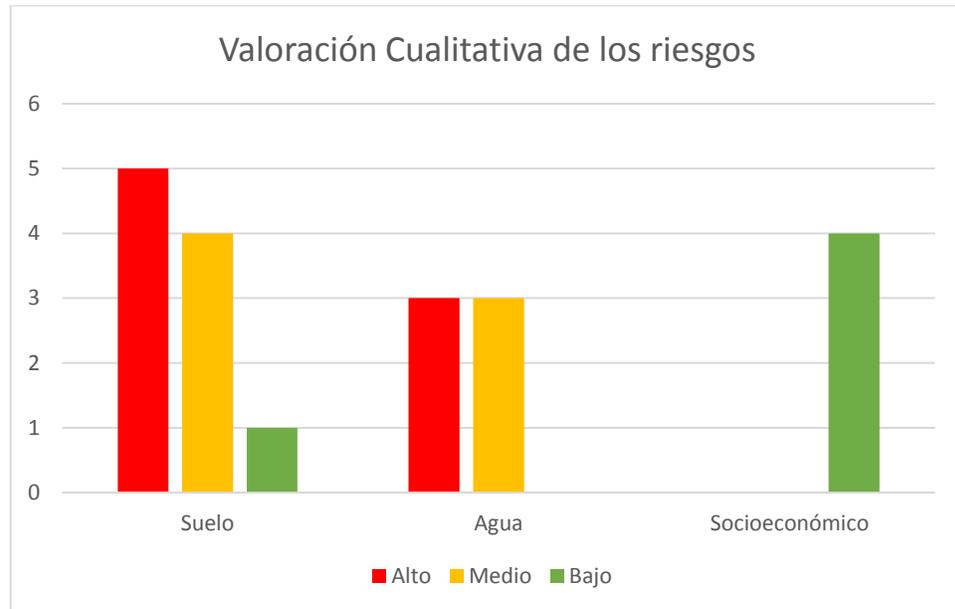
Recurso afectado	Descripción de los impactos potenciales en el ambiente	Riesgos potenciales	Clasificación de la gravedad de la consecuencia	Posibilidad de Frecuencia	Nivel de riesgo
SUELO	Salinización de los suelos	Perdida de fertilidad	4	3	Alto
		Perdida de cobertura vegetal	4	3	Alto
		Pérdida capacidad portantes	3	2	Medio
		Compactación del suelo	3	4	Alto
	Modificación de hábitats terrestres	Extinción de microfauna	4	2	Medio
		Destrucción del hábitat	4	1	Medio
	Cambio en la capacidad productiva del suelo	Pérdida de cosechas	4	2	Medio
		Disminución de productividad de cultivos	4	3	Alto
	Migración de especies (reptiles, anfibios y mamíferos)	Perdida de nichos ecológicos	4	3	Alto
		Afectación en la cadena alimenticia	2	2	Bajo

Cuadro 23. (Continuación)

AGUA	Modificación en valores de pH, DBO, DQO5, O2 Disuelto	Disminución de la capa freática	3	2	Medio
		Cambios en procesos metabólicos de las especies acuáticas	3	3	Medio
		Cambios en regímenes de agua	4	4	Alto
	Disminución de la calidad de agua por el aumento pH,	Eutrofización de cuerpos lenticos	3	4	Alto
		Aumento en mortandad de peces	4	2	Medio
		Afectación de la salud de los municipios cercanos (Guamal y Castilla La Nueva)	3	4	Alto
SOCIO-ECONOMICO	Conflictos con las comunidades	Aumento de enfermedades respiratorias	2	2	Bajo
		Pérdida del sentido del olfato	3	1	Bajo
	Modificación de costumbres y hábitos	Desplazamiento de población	3	1	Bajo
		Cambios en las formas de tenencia de la tierra	2	3	Bajo

En la Grafica 2 se puede evidenciar resumidamente el resultado de la valoración realizada para esta investigación, allí se muestra los riesgos según su nivel en cada uno de los componentes naturales establecidos.

Gráfica 2. Valoración Cualitativa de los riesgos



5 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES

Este capítulo está enfocado en proponer tratamiento a los riesgos que generan mayor impacto en los recursos establecidos, teniendo en cuenta la metodología de tratamiento de riesgos sugerida en la norma GTC 104. Esta norma sugiere diferentes tipos de opciones de tratamiento que se presentan de forma general en el Cuadro 24, estrategias que se tendrán en cuenta para el tratamiento de los riesgos clasificados como altos.

Cuadro 24. Estrategias de tratamiento

Estrategia	Descripción
Evitar el riesgo	Detener la realización de la actividad, rediseño en procesos, cambio de materiales usados, elección de ubicación más adecuada.
Mitigar el riesgo	Mayor rigor en la aplicación de normas de calidad, mejoras en tecnologías usadas.
Reducir la posibilidad	Planificación de actividades, diseño de proceso y controles, seguimiento, capacitación y normas más estrictas de mantenimiento.
Reducir las consecuencias	Menor exposición a la fuente de riesgo, establecer planes de contingencia y emergencia para las actividades implicadas.
Transferir el riesgo	Soporte por otra organización, por medio de un contrato (no aplica para riesgos ambientales).
Retener el riesgo	Planes de emergencias, desastres y de recuperación.
Separar físicamente	Separación de la zona afectada mediante barreras físicas o zonas de amortiguación (localmente)
Duplicar los recursos	Introducción de especies en peligro en hábitats adecuados.
Transformar el riesgo	Modificar el riesgo no de difícil manejo a uno que se pueda implementar algún tipo tratamiento.

Nota: La información contenida en el cuadro corresponde a INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC- Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009. p. 46

5.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE MITIGACIÓN

Una vez realizada la valoración de los riesgos en el anterior capítulo y a partir de la metodología sugerida por la norma GTC 104, se debe realizar una identificación de los riesgos evaluados como altos y sus impactos potenciales en el recurso ambiental (Cuadro 25), posterior a esto se definirá las alternativas de mitigación acorde con esta identificación.

Cuadro 25. Recursos afectados y amenazas identificadas

Recurso afectado	Descripción de los impactos potenciales en el ambiente	Riesgos
SUELO	Salinización de los suelos	Perdida de fertilidad
		Perdida de cobertura vegetal

Cuadro 25. (Continuación)

AGUA	Migración de especies (repíteles, anfibios y mamíferos)	Perdida de nichos ecológicos
	Modificación en valores de pH, DBO, DQO5, O2 Disuelto	Cambios en regímenes de agua
	Disminución de la calidad de agua por el aumento pH	Afectación de la salud de los municipios cercanos (Guamal y Castilla La Nueva)

5.2. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

De acuerdo con los recursos afectados y los riesgos generados por la disposición de cortes de perforación en Campo Castilla, se presenta una aproximación de alternativas de tratamiento en el Cuadro 26.

Cuadro 26. tratamientos de riesgos valorados altos

Recurso afectado	Riesgos	Estrategia tratamiento de riesgo	Descripción de los tratamientos propuesto
SUELO	Perdida de fertilidad	Mitigar el riesgo	Mezcla de los cortes con cascarilla de arroz, permite la oxidación biológica y polisicato de sodio y Potasio, permiten regular el pH de los suelos.
	Perdida de cobertura vegetal	Transferir el riesgo	Transportar los cortes a otros campos donde tengan la capacidad necesaria para el tratamiento y disposición de estos cortes.
	Compactación del suelo	Retener el riesgo	Inyección de cortes de perforación, se debe considerar que estos sean compatibles con la formación que se busca inyectar.
	Disminución de productividad de cultivos		Garantizar que el funcionamiento del sistema de control de solidos se encuentre en óptimas condiciones para que se realice una adecuada separación de los cortes y el lodo, a través de inspecciones técnicas periódicas.
AGUA	Perdida de nichos ecológicos	Reducir consecuencias	Confinamiento controlado, los cortes son sometidos a un previo tratamiento fisicoquímico donde se debe considerar criterios como recubrimiento apropiado, monitoreo de lixiviados y cuidados de recubrimiento.
	Cambios en regímenes de agua		
	Afectación de la salud de los municipios cercanos (Guamal y Castilla La Nueva)		

6 CONCLUSIONES

- El proceso de disposición de cortes de perforación en Campo Castilla tiene gran impacto negativo en los recursos estudiados, causando principalmente salinización y cambio de la capacidad productiva del suelo, así como generando cambio en los regímenes de agua y la eutrofización de los cuerpos lenticos.
- El 50% de los riesgos identificados de este proceso de la industria en Campo Castilla afectan principalmente al componente suelo.
- El análisis de los riesgos ambientales asociados a un proceso permite la toma de acciones de control y prevención de futuros impactos a los diferentes recursos naturales como socioeconómicos.
- La evaluación de los impactos, riesgos y tratamientos se toma la guía técnica colombiana 104 (GTC 104), la cual es una guía que aporta información muy concreta para la realización del análisis de este proceso.
- Se definieron algunas actividades de tratamiento de los riesgos evaluados como altos asociados al proceso de disposición de cortes de perforación en recursos de agua y suelo. La implementación de estas actividades debe realizarse desde una perspectiva integral donde se considere todos los efectos positivos y los posibles impactos secundarios que puede generar.

7 RECOMENDACIONES

- El análisis de riesgos ambientales en operaciones de perforación en Colombia es un tema clave para asegurar el uso de buenas prácticas y hace parte del éxito de los proyectos en esta industria, por lo que es de gran importancia que, como gestores ambientales, tengamos mayor conocimiento sobre gestión de riesgos aplicados a casos de procesos petroleros.
- Ampliar la investigación de los riesgos ambientales y estrategias para la mitigación de los impactos generados por el proceso de disposición de cortes de perforación en todos los campos de la cuenca de los llanos orientales. Adicionalmente se recomienda profundizar en los tratamientos de riesgos socioeconómicos, riesgos que fueron identificados en esta monografía.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). Colombian Sedimentary Basins. [Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2013. p. 26. [Consultado 25, agosto, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH), Llanos Orientales Open Round. [Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2010. p. 1. [Consultado 15, julio, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf)

BAROID IDP. Aquagel. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 24, agosto, 2018] Disponible en: <https://www.baroidip.com/idp/products-applications/products/nsf-products/aquagel.html>

BOLAÑOS, Vanessa. Disposición ambiental de los cortes de sólidos asociados a la perforación de pozos petroleros aplicando la reinyección de cortes de perforación en el bloque 16 del oriente ecuatoriano. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial. Ingeniera ambiental y manejo de riesgos. 2014 naturales. 2014.

CAENN, Ryan; DARLEY, HCH & GRAY, George. Composition and properties of drilling and completion Fluids. 6 ed. Gulf Professional Publishing. 1988.

CASTILLO, Xiomar y ROJAS, Sergio. Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el campo castilla de Ecopetrol S.A. Bogotá D.C. CO: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. 2017. p. 40.

ECOPETROL S.A., Carta Petrolera. [Sitio web]. Bogotá D.C.CO, sec. Publicación. 2010. p. 1. [Consultado 15, julio, 2018]. Disponible en: <http://serviciocliente.ecopetrol.com.co/documentos/carta126/editorial.htm>

ECOPETROL y CONSORCIO MEGAOIL. Modificación del Plan de manejo ambiental Bloque Cubarral, Campos Castilla y Chichimene. Colombia: Bogotá, 2014.

ECOPETROL. Programa de fluidos de perforación Pozo Castilla 192 V1. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO, sec. Publicación. 2013. p. 13. [Consultado 25, agosto, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/280520736/Programa-de-Fluidos-Castilla-192-V1>

EL-SAYED, Abdullah; ABU EL-NAGA, Kamal. Treatment of drill cuttings. Exploration and Production Environmental Conference held in San Antonio, Texas. En: SPE. 2001. SPE 66530.

ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de America. Bogotá. 2013.

GBADEBO, Adewale; TAIWO, Adewale & EGHELE, U. Environmental impacts of drilling mud and cutting wastes from the Igbokoda onshore oil wells, Southwestern Nigeria. En: Indian Journal of Science and Technology, 2010. Vol. 3, no.5.

HALLIBURTON. Baradril-N Reservoir Drilling Fluid System. [Sitio Web]. Bogotá D.C CO: [Consultado 24, agosto, 2018]. Disponible en: <https://www.halliburton.com/en-US/ps/baroid/fluid-services/reservoir-fluids-solutions/drill-in-fluid-systems/baradril-n-reservoir-drilling-fluid-system.html>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC- Gestión ambiental. Guía para el tratamiento de residuos de fluidos base aceite empleados en la perforación de pozos de petróleo. GTC 74. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC- Gestión del riesgo ambiental. Principios y procesos. GTC 104. Bogotá D.C CO: El Instituto, 2009.

LEAL, Christian y LIZARAZO, Julián. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2011.

LENIS, Efraín. MI SWACO. Curso de control de sólidos. 2004.

MALDONADO, Ángela. Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de alto rendimiento aplicados al campo Balcón como sustitutos de lodo base aceite. En: Universidad Industrial de Santander. 2006.

MÉNDEZ, Rene; GÓMEZ, Petrona; LEDESMA, Juan y CENICEROS, Claudia. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en tabasco. En: Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 2012.

MÉRIDA, Julio. y RODRIGUEZ, Francisco. Biorremediación de lodos de recortes de perforación base aceite, contaminados con hidrocarburos mediante un consorcio bacteriano y la adición de ácidos húmicos como surfactantes. En: Hacia la

sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima, 2011. p. 560.

NABAHANI, Nader; KHAJE, Esmaeel. Environmental aspect of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings. En: International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2015. ISSN: 2320-2092.

ORESHKIN, Dmitry; CHEBOTAEV, Alexander &PERFILOV, Vladimir. Disposal of Drilling Sludge in the Production of Building Materials. En: Procedia Engineering, 2015. p. 608.

QUEENSLAND GOVERNMENT. Characterisation and Management of Drilling Fluids and Cuttings in the Petroleum Industry. Departament of environment and heritage protection. 2013.

RAMIREZ, Omar. Manejo, clasificación y disposición de residuos peligrosos (cortes de perforación base aceite) en plataformas petroleras. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. México D.F, 2014.

RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workcover en el Campo Apiay y Castilla La Nueva. (Trabajo de grado). Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga. 2008.

SCHINITMAN, N. Metales Pesados, Ambiente y Salud. [Sitio Web]. Bogotá. D.C. CO. [Consultado 15, marzo, 2018]. Disponible en : https://www.ecoportel.net/temasespeciales/contaminacion/metales_pesados_ambiente_y_salud/

SCHLUMBERGER. Oilfield review. Fundamentos de los fluidos de perforación. Volumén 25, no.1

SCHULMBERGER. Oil Glossary. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 15 julio 2018] Disponible en: http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/d/drilling_fluid.aspx

SCHULMBERGER. Oil Glossary. Spud mud. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO.[Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/s/spud_mud.aspx

SCHULMBERGER. Oil Glossary: Barite [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/barite.aspx>

SCHULMBERGER. Oil Glossary. Caustic Soda [Sitio Web]. Bogotá: [Consultado 25, agosto, 2018] Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/caustic_soda.aspx

SHARIF, Ahammad; NAGALAKSHMI, SRIGOWRI, Reddy; VASANTH; G & UMA, Sankar, K (2017) Drilling Waste Management and Control the Effects. J Adv Chem Eng 7: 166. 2017.

TORRES, Karina. Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de hidrocarburos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia, 2014.

UNIVERSIDAD MAYOR REALY PONTIFICIA SAN FRNACISCO JAVIER DE CHUQUISACA. Equipos mecánicos de control de solidos. Bolivia.2011.

UNIVERSIDAD NACIONAL, Estudio regional de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región de Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia. Bogotá D.C. CO: Departamento de Biología. 2012.

VELÁSQUEZ, Johana. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. En: vista de Investigación Agraria y Ambiental. 2017. Vol. nro. 8. ISSN 2145-6097.

ZHANG, Shaohui & TENG, Xinxing. Safety Risk Management of Drilling Operations. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development; Ling Wang, E&D Research Institute of Liaohe Oilfield Company; Shuai Wang, China National Offshore Oil Corporation Research Institute; Liangfan Wen, China Petroleum Technology & Development Corporation. 2016. p. 3.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ECOPETROL, Reporte Integrado de Gestión Sostenible Ecopetrol S.A 2016. p. 332

BAROID FLUID SERVICES. Fluid Handbook. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. [Consultado 24, agosto, 2018]. Disponible en: https://www.energysupplychain.com/technical_library/DS-Baroid%20Fluid%20Services%20Fluids%20Handbook-Halliburton-2006.pdf

LINEA CULTURAL. Diversidad cultural en los Llanos Orientales. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO [Consultado 24, julio, 2018]. Disponible en: <https://apuntesdecultura34v.wordpress.com/2014/02/23/diversidad-cultural-en-los-llanos-orientales/>

ROJAS, Sara; ATIAGA, Olivia y CARRERA, David. Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. En: Revista Ciencia UNEMI. 2015. p. 63

SCHULMBERGER. Oilfield. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO [Consultado 20, julio, 2018]. Disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish13/spr13/defining_fluids.pdf

VALENZUELA, Natalia. Especificaciones técnicas y legales para el acondicionamiento de un centro de acopio de cortes de perforación en el municipio de Acacias-Meta. Bogotá. Fundación Universidad de América, 2014. p. 36.